

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«Харківський політехнічний інститут»

**А. К. Бабіченко, М. О. Подустов, І. Г. Лисаченко,
Ю. А. Бабіченко, І. Л. Красніков, Р. В. Сагайдак-Нікітюк,
В. І. Вельма, О. В. Пугановський**

**ПРАКТИКУМ З МЕТРОЛОГІЇ, ОСНОВ ВИМІРЮВАНЬ
ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів закладів вищої освіти*

За редакцією А. К. Бабіченка

Харків 2019

УДК 681.5 (075.8)

П 81

Авторський колектив:

А. К. Бабіченко, канд. техн. наук, проф., *М. О. Подустов*, д-р. техн. наук, проф.,
І. Г. Лисаченко, канд. техн. наук, доц., *І. Л. Красніков*, канд. техн. наук, проф.,
Ю. А. Бабіченко, канд. техн. наук, доц., *В. І. Вельма*, канд. техн. наук, доц.,
Р. В. Сагайдак-Нікітюк, д-р фарм. наук, проф., *О. В. Пугановський*, ст. викл.

Рецензенти:

Панасенко В. О., д-р техн. наук, проф., начальник науково-технічного відділу ДУ «Державного науково-дослідного інституту основної хімії».

Ладанюк А. П., д-р техн. наук, проф., проф. кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій

Лазарєв М. І., д-р пед. наук, проф., проф. кафедри креативної педагогіки та інтелектуальної власності Української інженерно-педагогічної академії.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Лист №1/11-23.2-78 від 06.02.2019)*

Практикум з метрології, основ вимірювань та технічних засобів
П81 автоматизації : навч. посіб. / А. К. Бабіченко, М. О. Подустов, І. Г. Лисаченко та ін. ; за ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХП», НФаУ, 2019. – 132 с.

У навчальному посібнику розглянуті лабораторні роботи, що відповідають дисциплінам «Метрологія та основи вимірювань» і «Технічні засоби автоматизації». Значна увага зосереджена на придбанні навиків щодо обробки результатів спостережень у процесі оцінки точності вимірювань технологічних параметрів, визначення характеристик виконавчих пристроїв, налагодження програм конфігурування мікропроцесорних засобів та оперативного управління автоматичною системою регулювання.

Навчальний посібник призначено для здобувачів вищої освіти спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», а також може бути використаний для спеціальностей, що вивчають цикл дисциплін з автоматизації технологічних процесів, таких як «Біотехнологія», «Промислова теплоенергетика», «Технологія фармацевтичних препаратів» та ін.

УДК 681.5. (078.8)

© Авторський колектив, 2019

©НФаУ, НТУ «ХП», 2019

ЗМІСТ

Передмова.....	7
1. Визначення систематичної і випадкової складових похибки манометра та перевірка гіпотези про нормальність спостереженого розподілу за складовим критерієм узгодження	9
1.1. Опис лабораторного стенда	9
1.2. Порядок виконання роботи.....	9
1.3 Обробка результатів спостережень	10
2. Перевірка гіпотези про приналежність розподілу випадкової величини до нормального закону за допомогою графічного критерію узгодження	13
2.1. Опис лабораторного стенда	13
2.2. Порядок виконання роботи.....	13
2.3. Обробка результатів спостережень	15
3. Визначення метрологічних характеристик нормуючого та електропневматичного перетворювачів сигналів	17
3.1. Опис лабораторного стенда	17
3.2. Порядок виконання роботи.....	18
3.3. Обробка результатів випробувань.....	19
4. Визначення грубих помилок та оцінка точності результату за малої кількості вимірювань	21
4.1. Опис лабораторного стенда	21
4.2. Порядок виконання роботи.....	22
4.3. Обробка результатів випробувань.....	23
5. Градування шкали вторинного приладу та визначення похибки результату однократного вимірювання витрати	25
5.1. Опис лабораторного стенда	25
5.2. Порядок виконання роботи.....	26
5.3. Обробка результатів вимірювань	27
6. Налагодження програм конфігурування мікропроцесорного модульного перетворювача та дослідження його метрологічних характеристик.....	28
6.1. Опис функціональних можливостей перетворювача та лабораторного стенда.....	28
6.2. Порядок виконання роботи.....	30

6.3. Обробка результатів вимірювань	36
7. Визначення похибки побічного вимірювання електричного опору.....	38
7.1. Опис лабораторного стенда	38
7.2. Порядок виконання роботи	39
7.3. Обробка результатів вимірювань	40
8. Визначення параметра і похибки інформаційно- вимірювального каналу із аналого-цифровим перетворювачем	42
8.1. Опис лабораторного стенда	42
8.2. Порядок виконання роботи	42
8.3. Обробка результатів вимірювань	43
9. Налаштування та відпрацювання навичок оперативного управління автоматичною системою регулювання температури в електронагрівальній печі	46
9.1. Опис лабораторного стенда, структури та функціональних можливостей мікропроцесорного регулятора.....	46
9.2. Порядок виконання роботи	52
9.2.1. Підготовка лабораторного стенда.....	52
9.2.2. Вмикання мікропроцесорного регулятора	52
9.2.3. Отримання кривої розгону об'єкта та визначення параметрів налаштування регулятора	53
9.2.4. Встановлення величини завдання регулятора	54
9.2.5. Встановлення параметрів налаштування регулятора.....	54
9.2.6. Отримання кривої перехідного процесу.....	55
9.3. Обробка експериментальних даних.....	55
10. Дослідження характеристик та перевірка оцифровки органів налаштування аналогового регулятора	57
10.1. Опис лабораторного стенда, структури і функціональних можливостей регулятора.....	57
10.2. Порядок виконання роботи	60
10.2.1. Перевірка оцифровки органу налаштування « K_D »	60
10.2.2. Перевірка оцифровки органу налаштування « K_B ».....	61
10.2.3. Перевірка оцифровки органу	

настроювання « K_o »	62
10.2.4. Перевірка оцифровки органу	
настроювання « K_ϕ ».....	63
10.3. Обробка результатів випробувань	64
11. Визначення характеристик виконавчого пристрою	
з мембранним приводом	65
11.1 Опис лабораторного стенда та конструктивного	
оформлення виконавчого пристрою.....	65
11.2. Порядок виконання роботи	68
11.2.1. Визначення робочої характеристики	
виконавчого механізму	68
11.2.2. Визначення витратної та пропускної	
характеристик регулюючого органу	68
11.3. Обробка результатів досліджень	69
12. Дослідження якості автоматичної системи	
регулювання із застосуванням мікропроцесорного	
регулятора.....	70
12.1. Опис лабораторного стенда, структури та	
функціональних можливостей регулятора	70
12.2. Порядок виконання роботи	76
12.2.1. Позиційний алгоритм регулятора	77
12.2.2. ПІД-алгоритм настроювання регулятора	77
12.3. Обробка результатів досліджень	78
13. Відпрацювання навичок оперативного управління	
автоматичною системою регулювання на базі контролера	79
13.1. Функціональні можливості та	
основні технічні характеристики контролера.....	79
13.2. Перелік алгоритмів та їхні реквізити.....	80
13.3. Програмування контролера.....	82
13.4. Порядок виконання роботи	91
13.4.1. Процедура настроювання параметрів	
у режимі програмування	92
13.4.2. Режим оперативного керування.....	93
13.5. Обробка результатів досліджень	94
14. Дослідження характеристик прямоходного	
виконавчого пристрою з електродвигунним приводом	96
14.1. Опис лабораторного стенда та	
конструктивного оформлення виконавчого пристрою	964

14.2. Порядок виконання роботи	101
14.2.1. Визначення гістерезису положення штоку виконавчого механізму	101
14.2.2. Визначення вибігу вихідного органу виконавчого механізму	102
14.2.3. Визначення середньої відносної швидкості переміщення вихідного органу виконавчого механізму	102
14.3. Обробка результатів досліджень	102
15. Відпрацювання навичок конфігурування мікропроцесорного регулятора та оперативного керування автоматичною системою регулювання тиску повітря	104
15.1 Опис обладнання, апаратного та програмного забезпечення лабораторного стенда	104
15.2 Порядок виконання роботи	108
15.2.1 Налаштування генератора сигналу постійного струму	108
15.2.2 Функціональні можливості та порядок конфігурування регулятора	109
15.2.3 Оперативне керування регулятором з використанням людино-машинного інтерфейсу, створеного у SCADA-системі Trace Mode V6	116
15.3 Обробка результатів досліджень	120
Список літератури	122
Додаток А. Значення функцій Лапласа	124
Додаток Б. Значення параметру розподілу d	126
Додаток В. Значення довірчої ймовірності P_i і кількості різниць m	126
Додаток Г. Значення функцій $\alpha(\Omega_n^2)$ за критерієм Мозеса-Смирнова	127
Додаток Д. Коефіцієнти розподілу Пірсона	128
Додаток Е. Коефіцієнти розподілу Стюдента	130
Додаток Ж. Коефіцієнт розподілу Колмогорова	131
Додаток З. Значення максимального відносного відхилення τ_α за різної кількості спостережень	131

ПЕРЕДМОВА

Багаторічний досвід викладання дисциплін «Метрологія та основи вимірювань» і «Технічні засоби автоматизації» засвідчив, що ґрунтовна проробка їх можлива тільки при виконанні ретельно підготовлених лабораторних робіт. Це в значній мірі сприяє наочній ілюстрації застосування теорії у розв'язанні завдань інженерної практики.

До початку виконання лабораторних робіт здобувач вищої освіти повинен вивчити необхідні розділи вище зазначених дисциплін, ознайомитись зі схемою лабораторної установки та функціональними можливостями тих чи інших засобів автоматизації, методикою виконання роботи та обробки результатів досліджень як по матеріалах посібника, так і по відповідній літературі. В посібнику докладно наведено опис лабораторних установок і оригінальних приладів. Серійні прилади та регулятори, що випускаються промисловістю, розглянуті тільки в тій мірі, в якій це необхідно для виконання лабораторних робіт. Окремі лабораторні роботи містять значно більше інформації, необхідної для виконання лабораторної роботи. Це дозволяє скоротити обсяг інформації щодо конструктивного оформлення виконавчих пристроїв та порядку програмування мікропроцесорних приладів під час викладання лекційного матеріалу.

Виконання лабораторної роботи передбачає оформлення звіту, який має відображати такі складові: назву, а також мету лабораторної роботи, схему лабораторної установки та окремого приладу (за вказівкою викладача), результати досліджень або випробувань у вигляді таблиць, результати обробки експериментальних даних та висновки.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти денної та заочної форм навчання спеціальностей 22 «Фармація, промислова фармація» (освітня програма «Технологія фармацевтичних препаратів») та 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». В ньому наведена значна кількість різноманітних лабораторних робіт, що дозволяє обрати ті з них, які відповідають профілю тієї галузі промисловості, для якої готують спеціалістів у

тому чи іншому закладі вищої освіти, тому представлений лабораторний практикум може бути використано також для здобувачів вищої освіти таких спеціальностей як «Біотехнологія», «Промислова теплоенергетика» та інші, що вивчають цикл дисциплін з автоматизації технологічних процесів.

Лабораторна робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМАТИЧНОЇ І ВИПАДКОВОЇ СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ МАНОМЕТРА ТА ПЕРЕВІРКА ГІПОТЕЗИ ПРО НОРМАЛЬНІСТЬ СПОСТЕРЕЖЕНОГО РОЗПОДІЛУ ЗА СКЛАДОВИМ КРИТЕРІЄМ УЗГОДЖЕННЯ

Мета роботи: засвоїти методику оцінки систематичної і випадкової складових похибки манометрів; визначити оцінки складових похибки, провести порівняння визначеної оцінки основної похибки з наведеною в паспорті; засвоїти методику застосування складового критерію узгодження.

1.1 Опис лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда складається з шарового крану 1 подачі стислого повітря, фільтру 2, редуктора 3 для зміни величини тиску, технічного 4 та зразкового 5 манометрів і ресивера 6, (рис. 1.1).

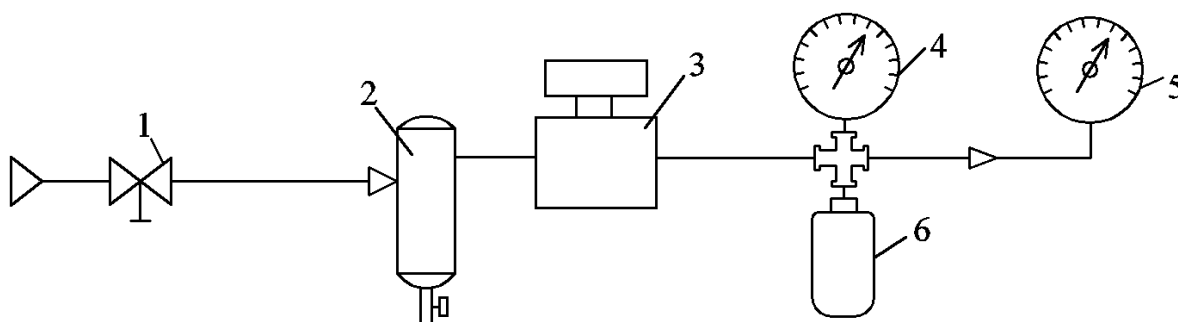


Рис. 1.1. Схема лабораторного стенда

1.2 Порядок виконання роботи

Ознайомитись зі схемою лабораторного стенда. Відкрити краном 1 подачу стислого повітря і редуктором 3 встановити по завданню викладача необхідну позначку тиску P_d , в якій буде проводитись оцінка похибки манометра 4. При цьому виконуються два ряди спостережень на позначці P_d . При виконанні спостережень першого ряду значення тиску за допомогою редуктора 3 повільно і плавно підводять стрілку манометра 4 до заданої величини P_d з боку менших значень і фіксують одночасно по зразковому

манометру 5 фактичний тиск P_{Mi} ($i = 8$ – кількість вимірів у кожному ряді). Для другого ряду редуктором 3 підводять стрілку манометра 4 до заданого значення P_d з боку більших значень P_{Bi} ($i = 8$). Після кожного виміру результати спостережень заносяться до табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Результати спостережень і розрахунків

Кількість параметрів	1	2	3	4	5	6	7	8	Сума
Значення тиску при підході до відмітки P_d з боку менших значень P_{Mi} , МПа									
Значення тиску при підході до відмітки P_d з боку більших значень P_{Bi} , МПа									
Значення абсолютної похибки ΔM_i , МПа									
Значення абсолютної похибки ΔB_i , МПа									
Значення різниці $(\Delta M_i - \overline{\Delta M})$, МПа									
Значення різниці $(\Delta B_i - \overline{\Delta B})$, МПа									
Значення квадрату різниці $(\Delta M_i - \overline{\Delta M})^2$, МПа									
Значення квадрату різниці $(\Delta B_i - \overline{\Delta B})^2$, МПа									
Значення різниці $(P_{Mi} - \overline{P})$, МПа									
Значення різниці $(P_{Bi} - \overline{P})$, МПа									

1.3 Обробка результатів спостережень

Визначити значення абсолютних похибок ΔM_i та ΔB_i для кожного спостереження за формулами:

$$\Delta M_i = \pm (P_d - P_{Mi}); \quad \Delta B_i = (P_d - P_{Bi}) \quad (1.1)$$

Визначити середнє значення похибки за рівняннями:

$$\overline{\Delta M} = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta M_i; \quad \overline{\Delta B} = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta B_i \quad (1.2)$$

Знайти оцінку систематичної складової основної похибки Δc :

$$\Delta c = 0,5 (\overline{\Delta M} + \overline{\Delta B}) \quad (1.3)$$

Середньоквадратичне відхилення випадкової складової похибки оцінюють за формулою:

$$\overline{\sigma}(\overset{o}{\Delta}) = \sqrt{\frac{1}{2n-1} \left[\sum_{i=1}^n (\Delta M_i - \Delta \overline{M})^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta B_i - \Delta \overline{B})^2 \right]} \quad (1.4)$$

Варіація B показань визначається рівнянням

$$B = \left| \Delta \overline{M} - \Delta \overline{B} \right| \quad (1.5)$$

Найбільше значення основної похибки Δ_{\max} визначається як найбільше по абсолютній величині з низки експериментальних спостережень ΔM_i і ΔB_i , занесених до таблиці 1.1.

Порівняння цієї похибки Δ_{\max} здійснюється з величиною Δ_T отриманою за паспортними даними на технічний манометр, яка розраховується за формулою:

$$\Delta_T = \frac{P_d \cdot \delta}{100}, \quad (1.6)$$

де δ – клас точності технічного манометра.

У разі невідповідності Δ_T і Δ_{\max} необхідно визначити фактичну величину δ та присвоїти новий клас точності за результатами спостережень. При цьому клас точності встановлюють за найбільш ближчим значенням зі стандартного ряду $[1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6] \cdot 10^n$, де $n = 1; 0; -1; -2$ і т. п.

Перевірка гіпотези щодо відповідності спостереженого розподілу результатів вимірювань тиску до нормального закону за складовим критерієм узгодження здійснюється у такій послідовності.

Середнє значення тиску \bar{x} та середньоквадратичне відхилення S розраховуються за рівняннями:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{16} P_i; \quad (1.7)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1.8)$$

де x_i – поточне значення тиску P_i згідно табл. 1.1.

Зміщена оцінка S^* середньоквадратичного відхилення обчислюється за формулою:

$$S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})^2}. \quad (1.9)$$

Параметр \bar{d} визначається у відповідності з рівнянням:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})}{n \cdot S^*} \quad (1.10)$$

Далі приймаються рівні значимості $q_1=q_2=2\%$, за яких по таблиці згідно додатку Б для $n=16$ і $q_1=2\%$ шляхом інтерполяції визначаються значення параметрів $d_{(1-q_1/2)}$ і $d_{q_1/2}$.

Перевіряється виконання умови:

$$d_{(1-q_1/2)} < \bar{d} < d_{q_1/2} \quad (1.11)$$

Якщо зазначена умова виконується, то в середині розподіл спостережень вважається нормальним. Далі по таблиці додатку В для $q_2=2\%$, $n=16$ і $m=1$ встановлюється значення ймовірності P .

За величиною $P/2$ по таблиці додатку А визначається верхня квантиль розподілу нормованої функції Лапласа $Z_{P/2}$ та розраховується добуток за формулою:

$$\Delta x = Z_{P/2} S \quad (1.12)$$

У випадку, якщо не більше однієї різниці $|x_i - \bar{x}|$, наведених у табл. 1.1, буде перевищувати значення Δx , то результати спостережень і на кінцях розподілу відповідають нормальному закону.

Скласти звіт про роботу, який повинен містити: номер, назву, мету лабораторної роботи, схему установки, результати досліджень і розрахунків,

висновок про придатність манометра до використання, результати розрахунків з відповідності експериментального розподілу нормальному закону.

Контрольні питання

1. Основні методи усунення систематичних похибок вимірювання.
2. У чому полягає принцип усунення систематичних похибок того чи іншого методу?
3. Навести класифікацію систематичних похибок.
4. Яку назву має центральний момент другого порядку?
5. Основні способи вираження класів точності.

Лабораторна робота 2

ПЕРЕВІРКА ГІПОТЕЗИ ПРО ПРИНАЛЕЖНІСТЬ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ ДО НОРМАЛЬНОГО ЗАКОНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІЧНОГО КРИТЕРІЮ УЗГОДЖЕННЯ

Мета роботи: засвоїти методику визначення числових характеристик розподілу результатів вимірювання та побудови графіків функцій щільності розподілу випадкової величини за даними спостережень і теоретичної, що відповідає нормальному закону.

2.1 Опис лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда, що складається з електронного автоматичного мосту типу КСМ-3, магазину опорів типу Р33 та тумблера Т, наведена на рис. 2.1.

2.2 Порядок виконання роботи

Ознайомитись зі схемою лабораторного стенда. Тумблером Т включити електроживлення для автоматичного мосту. Згідно з табл. 2.1 провести на заданій викладачем позначці T_d (20 °С, 30 °С, 40 °С....) випробування моста. Для цього проводять два ряди спостережень відомої з достатньою точністю

величини R_D на позначці T_D моста. Опір R задається за допомогою магазину Р33. При виконанні спостережень першого ряду значення опору за допомогою Р33 повільно і плавно підводять до заданої величини T_D з боку менших значень R_n ($n = 9$ – кількість вимірів для кожного ряду), а для другого ряду – з боку більших значень R_n . Результати досліджень заносять до табл. 2.2.

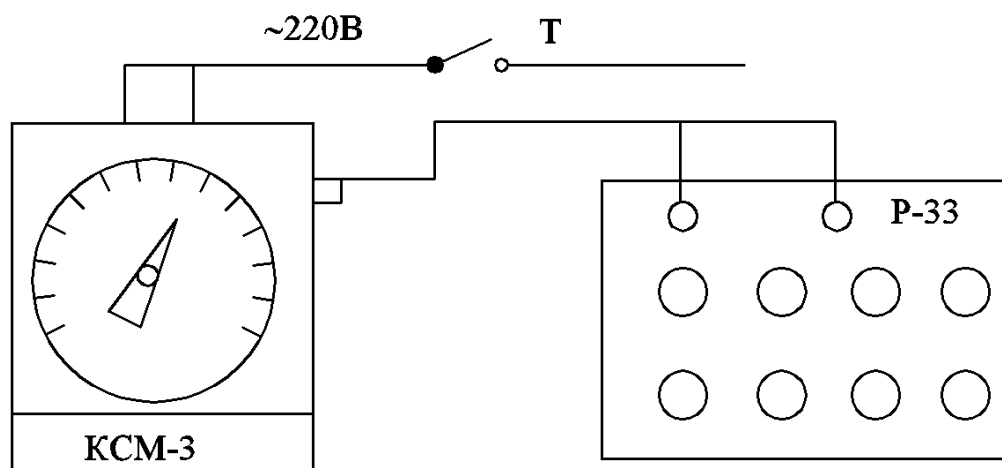


Рис 2.1. Схема лабораторного стенда

Таблиця 2.1. Градувальна характеристика для КСМ-3 (Гр. 23)

Температура T_D , $^{\circ}C$	Опір R_D , Ом
0	53,00
10	55,25
20	57,51
30	59,76
40	62,01
50	64,26
60	66,52
70	68,77
80	71,02
90	73,27
100	75,53

Таблиця 2.2. Результати випробувань автоматичного мосту

Найменування параметру	Номер випробування									
	з боку менших значень							з боку більших значень		
	1	2	3	4	5	9	10	18
Опір R_n , Ом										

2.3 Обробка результатів спостережень

Для побудови графіків функцій розподілу проводиться групування результатів випробувань від R_{min} до R_{max} , далі здійснюється розподіл експериментальних даних на інтервали. Кількість інтервалів K визначається за формулою Старджеса. У разі отримання дробових частин величину K необхідно округляти до цілого числа:

$$K = 1 + 3,3 \lg n, \quad (2.1)$$

де n – кількість випробувань ($n = 18$).

Знаходиться довжина інтервалів h , яку необхідно округляти до величини кратної ціні поділки вимірювального приладу:

$$h = (R_{max} - R_{min}) / K \quad (2.2)$$

Результати вимірювань групуються у знайдені K -інтервали та знаходиться середина для кожного інтервалу. Після цього складається таблиця 2.3, в якій абсолютна частота n_k визначається числом попадання результатів вимірювання в той чи інший інтервал групування, а відносна частота $f^*(R_k)$ – це експериментальна щільність розподілу результатів вимірювань.

Таблиця 2.3. Результати групування експериментальних даних

Номер інтервалу K	Границя інтервалу $(R_k^H \div R_k^G)$, Ом	Середина інтервалу R_k , Ом	Абсолютна частота, n_k	Відносна частота $f^*(R_k) = \frac{n_k}{n}$
1				
.....				
K				
Сума	R_k^H, R_k^G – відповідно, нижня і верхня границя	—	18	1,00

Для визначення значень теоретичної функції щільності розподілу, що відповідає нормальному закону, будується табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Результати розрахунків значень теоретичної функції щільності розподілу

Номер інтервалу K	Середина інтервалу R_k , Ом	Добутки		Функція щільності розподілу теоретична $f(R_k)$
		$n_k R_k$	$n_k R_k^2$	
1				
.....				
K				
Сума	–			1,00

Визначення числових характеристик, а саме середнього \bar{R} та середньоквадратичного відхилення $\bar{\sigma}(R)$ здійснюється за формулами:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i R_i ; \quad (2.3)$$

$$\bar{\sigma}(R) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^k n_i R_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^k n_i R_i \right)^2}{n} \right] - \frac{h^2}{12}} \quad (2.4)$$

Для побудови графіка визначається функція щільності розподілу для нормального закону за рівнянням:

$$f(R_k) = \Phi \left[\frac{R_k^B - \bar{R}}{\bar{\sigma}(R)} \right] - \Phi \left[\frac{R_k^H - \bar{R}}{\bar{\sigma}(R)} \right], \quad (2.5)$$

де Φ – значення функції Лапласа, яка визначається по таблиці, наведеній у додатку А.

Після заповнення таблиці 2.3 і 2.4 за отриманими значеннями $f^*(R_k)$ і $f(R_k)$ необхідно побудувати гістограму і графіки функцій щільності розподілу, а потім провести візуальне порівняння і зробити висновок про відповідність експериментальної функції розподілу з функцією, що характерна для нормального закону.

Контрольні питання

1. Навести алгоритм визначення експериментальної функції щільності розподілу випадкової величини.
2. У чому полягає методика групування результатів спостережень випадкової величини?
3. Перелічити основні критерії узгодження та пояснити їх зміст.
4. Що таке гістограма і полігон розподілу результатів спостережень випадкової величини?
5. Дати інтерпретацію числових характеристик розподілу випадкової величини за отриманими графіками.

Лабораторна робота 3

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОРМУЮЧОГО ТА ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИГНАЛІВ

Мета роботи: ознайомитись з функціональним призначенням нормуючого типу ПТ-ТС і електропневматичного типу ЕПП перетворювачів; визначити статичні характеристики перетворювачів та провести їх перевірку на відповідність їх паспортному класу точності.

3.1 Опис лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда (рис. 3.1) складається з нормуючого перетворювача 1 типу ПТ-ТС-68, на вхід якого підключено магазин опорів 2 типу РЗЗ для імітації роботи термометра опору типу ТСМ. Для вимірювання вихідного струмового сигналу з перетворювача 1 використовується цифровий вольтметр 3 типу В7-20. Струмовий сигнал $0 \div 5$ мА з перетворювача 1 передається на пневматичний електроперетворювач 4 типу ЕПП. Вихідний тиск з приладу 4 вимірюється вторинним приладом 5 типу ПВ1.2. Загальне включення стенда для живлення здійснюється тумблером Т1 і Т2. Для сигналізації включення живлення застосовується лампа Л1. Живлення приладів 4 і 5 здійснюється стислим повітрям на рівні 0,14 МПа. Подача повітря від

компресора передбачає додаткове очищення від механічних домішок за допомогою фільтру 6. Редуктором 7 встановлюють тиск живлення по манометру 8.

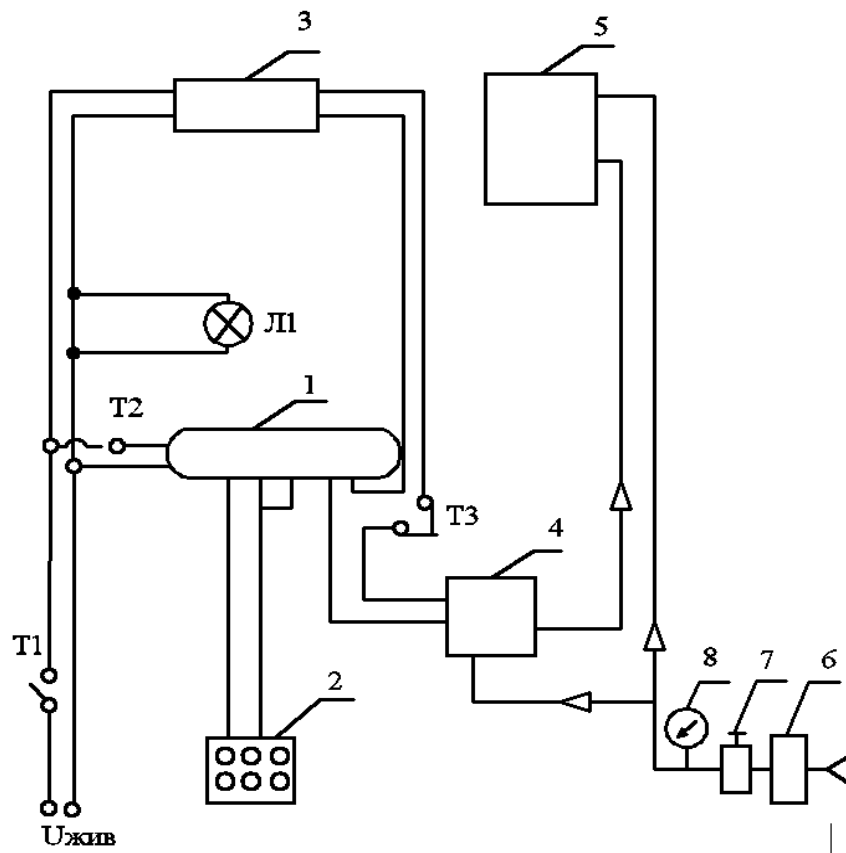


Рис. 3.1. Схема лабораторного станда

3.2 Порядок виконання роботи

Увімкнути стенд в електричну мережу тумблером Т1 і подати напругу живлення на нормуючий перетворювач 1 тумблером Т2, встановивши його у положення «вкл». При цьому повинна загорітися лампа Л1. Тумблер Т3 встановити в положення «Задача 1». Підготувати табл. 3.1.

За допомогою магазину опорів 2 послідовно встановлювати значення величини опору згідно стовпця 1 таблиці 3.1. При цьому кожного разу здійснювати відлік по вольтметру 3 сили I_B струму на виході перетворювача 1 та одночасно заносити ці значення до стовпця 3 табл. 3.1. Далі редуктором 7 по манометру 8 встановити тиск живлення повітря на рівні 0,14 МПа. За допомогою магазину опорів 2 по вольтметру 3 послідовно встановлювати силу вхідного струму на перетворювач 4 згідно стовпця 6 табл.3.1. При цьому

кожного разу здійснювати відлік по вторинному приладу 5 тиску P_B на виході перетворювача 4 у відсотках діапазону x_B із записом отриманих значень до стовпця 7 табл. 3.1. Після цього виключити стенд тумблерами Т1 і Т2.

3.3 Обробка результатів випробувань

Визначити для перетворювача ПТ-ТС розрахункові значення вихідного струму I_P , що повинні відповідати вказаним у табл. 3.1 значенням стовпця 1 за рівнянням:

$$R_{TC} = R_{TC}^H + \frac{I_P (R_{TC}^B - R_{TC}^H)}{5}, \quad (3.1)$$

де $R_{TC}^H = 53 \text{ Ом}$; $R_{TC}^B = 25,58 \text{ Ом}$.

Отримані результати заносять до стовпця 4 таблиці випробувань.

Таблиця 3.1. Результати випробувань перетворювачів сигналів

ПТ-ТС					ЕПП				
Величина опору на вході приладу, R, Ом	Відсоток діапазону	Сума струму на вході приладу, мА		Похибка γ_1 , %	Сила струму на вході приладу I, мА	Відсоток діапазону x_B , %	Вихідний тиск, МПа		Похибка γ_2 , %
		I_B	I_P				P_B	P_P	
53,00	0				0			0,02	
57,52	20				1			0,036	
62,03	40				2			0,053	
66,55	60				3			0,068	
71,06	80				4			0,084	
75,58	100				5			0,1	

Знайти похибку (γ_1) в кожній розрахунковій точці вимірювального перетворювача ПТ-ТС за формулою:

$$\gamma_1 = \frac{I_B - I_P}{5} \cdot 100, \% \quad (3.2)$$

Провести градування шкали вторинного приладу ПВ 1.2 в одиницях тиску P_B , якщо відомо, що 0 % приладу відповідає тиску 0,02 МПа, а 100 % – значенню тиску 0,1 МПа. Результати розрахунків занести до табл. 3.1 і зробити висновок згідно стовпця 5 про відповідність перетворювача ПТ-ТС його паспортному класу точності 0,6.

Для перетворювача ЕПП обчислити похибку (γ_2) для кожного значення стовця 8 табл. 3.1 за формулою:

$$\gamma_2 = \frac{P_B - P_P}{0,08} \cdot 100, \% \quad (3.3)$$

Отримані результати розрахунків занести до табл. 3.1 і зробити висновок згідно стовпця 10 про відповідність перетворювача ЕПП його паспортному класу точності.

У разі невідповідності або відсутності паспортних даних присвоїти йому новий клас точності, з яким він може бути використаним у подальшій роботі.

Побудувати дійсні градувальні характеристики перетворювачів у вигляді таких залежностей:

$$I_B = f(R) \text{ і } P_B = f(I) \quad (3.4)$$

Методом найменших квадратів визначити рівняння для цих залежностей шляхом апроксимації їх лінійним рівнянням у вигляді:

$$y = A + Bx \quad (3.5)$$

Коефіцієнти A і B знаходяться формулами:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i y_i \sum_{i=1}^N x_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}, \quad (3.6)$$

$$B = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i \right)}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}, \quad (3.7)$$

де N – кількість результатів спостережень ($N=6$);

x – вхідна величина R чи I згідно функцій (3.4);

y – вихідна величина I_B чи P_B згідно функцій (3.4).

Контрольні питання

1. Основні способи вираження класів точності.
2. Чим обумовлені основна та додаткова похибка вимірювання?
3. Як визначити похибку вимірювального приладу по класу точності?
4. Що означає виміряти фізичну величину?
5. Який критерій є основою методу найменших квадратів?

Лабораторна робота 4

ВИЗНАЧЕННЯ ГРУБИХ ПОМИЛОК ТА ОЦІНКА ТОЧНОСТІ РЕЗУЛЬТАТУ ЗА МАЛОЇ КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи: засвоєння методики обробки експериментальних даних за невеликої кількості вимірювань з виявленням грубих помилок у процесі вимірювань та оцінка стандартної випадкової похибки

4.1 Опис лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда (рис. 4.1) складається з ротаметра 1 типу РЕ, вторинного приладу 2 типу КСД-3, мірної ємності 3.

Водопровідна вода з магістралі поступає через вентиль 4 і ротаметр 1 до мірної ємності 3. Кількість води, що надходить у ємність 3 вимірюється візуально по водомірній скляній трубці 5. Для випуску води з ємності передбачено вентиль 6.

4.2. Порядок виконання роботи

Ознайомитись зі схемою лабораторного стенда і підготувати таблицю 4.1 для запису результатів вимірювань.

Узгодити з викладачем номер позначки шкали вторинного приладу і включити його до електромережі. У відповідності із завданням на кількість вимірів провести випробування за такою схемою.

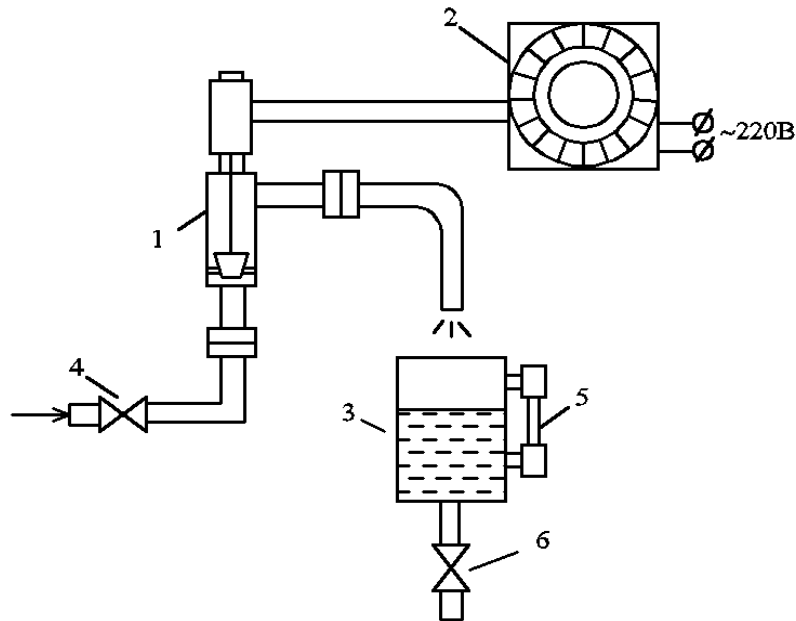


Рис. 4.1. Схема лабораторного стенда

Відкрити випускний вентиль 6, після чого вентилем 4 встановити показчик приладу 2 на позначку, що задана викладачем. Закрити вентиль 6 і зафіксувати по секундоміру час заповнення двох літрів води ($V_i = 2 \text{ л}$) мірної ємності 3. Результат занести до таблиці 4.1. Аналогічним чином провести заміри в кількості $i = 9$. При цьому кожного разу необхідно встановити показчик приладу 3 з нульової відмітки до заданої викладачем. Після закінчення випробувань виключити прилад від електромережі, закрити вентиль 4 і відкрити вентиль 6.

Таблиця 4.1. Результати випробувань

№ випробування	Показання по шкалі вторинного приладу (відмітка шкали)	Об'єм води, що поступає в мірну ємність, V_i , м ³	Час заповнення мірної ємності t_i , год.	Значення витрати, Q_i , м ³ /год.	Різниця витрат $(Q_i - \bar{Q})$, м ³ /год.	Квадрат різниці $(Q_i - \bar{Q})^2$, м ⁶ /год.
1						
...						
9						

4.3 Обробка результатів вимірювань

Визначити величину витрати Q_i за формулою:

$$Q_i = V_i / t_i \quad (4.1)$$

Визначити різниці витрат для кожного номера випробування згідно табл. 4.1.

При цьому середньоарифметичне значення витрати \bar{Q} знаходять за формулою:

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad (4.2)$$

Розрахувати середньоквадратичне відхилення за рівнянням:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (4.3)$$

Для невеликої кількості вимірювань ($n < 20$) виключення грубих помилок здійснюється за критерієм Романовського (τ -критерій). За цим критерієм визначається величина τ_i за формулою:

$$\tau_i = \frac{|Q_i - \bar{Q}|}{\bar{\sigma}}, \quad (4.4)$$

де Q_i – найбільше або найменше значення витрати, яке суттєво відрізняється від інших результатів вимірювання згідно табл. 4.1.

Якщо значення τ_i більше значення τ , наведеного у табл. 4.2 або додатку В, тобто $\tau_i > \tau$, результат Q_i містить грубу помилку (промах) і має бути відкинутим з вибірки.

У разі виключення грубого виміру необхідно знову визначити Q_i і $\bar{\sigma}$ для кількості вимірювань $(n-1)$.

Далі задаються довірчою ймовірністю P у межах $0,95 \div 0,999$ (по узгодженню з викладачем) і по табл. 4.3 залежно від кількості вимірів знаходять коефіцієнт Стюдента t_s .

Таблиця 4.2. Значення критерія Романовського при довірчій ймовірності $P = 0,95$ у залежності від кількості вимірів

n	4	6	8	10	12	15	20
τ	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78

Таблиця 4.3. Коефіцієнти Стюдента t_s (n – кількість вимірювань, P – довірна ймовірність)

n	$P = 0,900$	$P = 0,950$	$P = 0,990$	$P = 0,999$
3	2,92	4,303	9,925	31,60
4	2,353	3,182	5,841	12,94
5	2,132	2,766	4,604	8,610
6	2,015	2,571	4,032	6,859
7	1,943	2,447	3,707	5,959
8	1,895	2,365	3,499	5,405
9	1,860	2,306	3,355	5,041
10	1,833	2,262	3,25	4,781

Встановлюється середня квадратична похибка середньоарифметичного (середня помилка) за формулою:

$$\overline{\sigma}_0 = \overline{\sigma} / \sqrt{n} \quad (4.5)$$

Визначення межі довірчого інтервалу (стандартна випадкова похибка) здійснюється за рівнянням:

$$\Delta_{CT} = t_s \overline{\sigma}_0 \quad (4.6)$$

Результат вимірювання величини витрати Q на заданій позначці шкали приладу з вказівкою характеристики похибки Δ_{CT} і P надається у вигляді:

$$Q = \bar{Q} \pm \Delta_{CT}, P = 0,95$$

Слід відзначити, що надійність $P = 0,95$ є достатньою для представлення результатів більшості наукових досліджень.

Оцінка відносної похибки δ (%) результатів серії вимірювань проводиться за формулою:

$$\delta = (\Delta_{CT} / Q) \cdot 100 \quad (4.7)$$

Контрольні питання

1. Що таке довірча ймовірність виміру, довірчий інтервал?
2. Чим можуть бути зумовлені грубі помилки в процесі вимірювань?
3. До якого класу похибок відносяться промахи?
4. Перелічити основні числові характеристики для опису випадкових величин.
5. Які основні методи вимірювання витрати?

Лабораторна робота 5

ГРАДУЮВАННЯ ШКАЛИ ВТОРИННОГО ПРИЛАДУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ РЕЗУЛЬТАТУ ОДНОКРАТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

Мета роботи: вивчити схему лабораторної установки та придбати навички проведення градуювання вторинних приладів, методику оцінки похибки за результатом однократного вимірювання.

5.1 Опис лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда (рис. 5.1) складається з діафрагми 1 типу ДБС, дифманометру 2 типу «Сапфір М 5420», вторинного приладу 3 типу М1730, ротаметра 4 типу РС-3 з межею вимірювання витрати повітря $0,063 \div 0,4$ м³/год і крану 5 для зміни витрати повітря. Для попередньої очистки повітря слугує редуктор з фільтром 6 типу РДФ-1,6. Живлення дифманометра і

вторинного приладу здійснюється за допомогою блоків живлення 8 і 9, підключених до 220 В за допомогою тумблера 7.

5.2 Порядок виконання роботи

Ознайомитись зі схемою лабораторного стенда і підготувати таблицю 5.1 для запису результатів вимірювань. Узгодити з викладачем діапазон градуювання і позначку для оцінки похибки результату однократного вимірювання витрати.

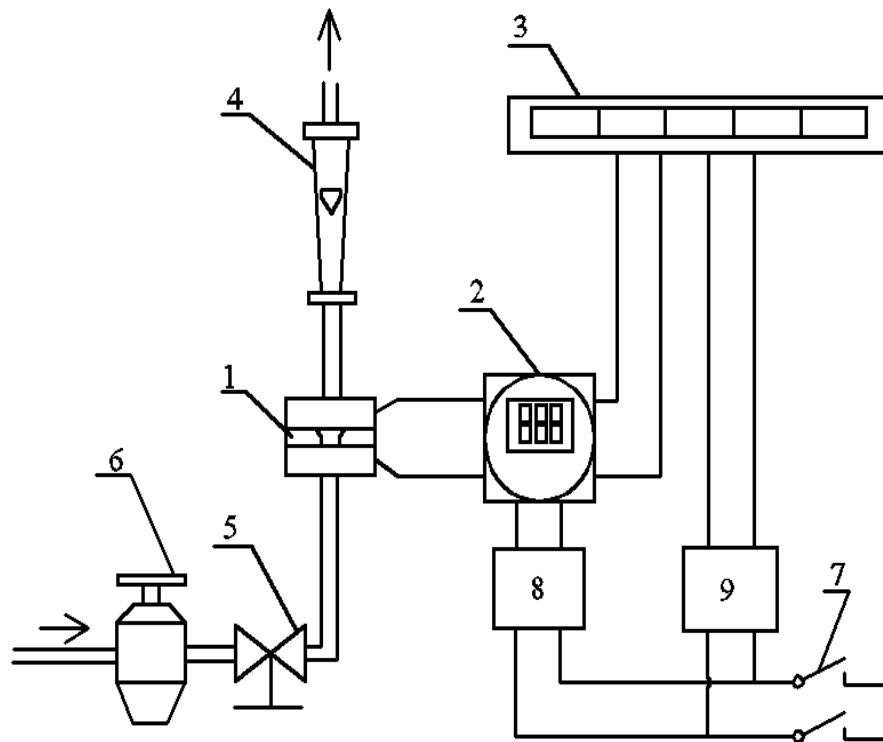


Рис. 5.1. Схема лабораторного стенда

Таблиця 5.1. Результати градуювання

№ позначки вторинного приладу, мА	Показання дифманометру, %, (кПа)			Показання ротаметру, %			Витрата повітря, м ³ /год.		
	прямий хід	зворотній хід	середнє значення	прямий хід	зворотній хід	середнє значення	прямий хід	зворотній хід	середнє значення
0,5									
1,0									
1,5									
2,0									
2,5									
3,0									

Підключити дифманометр 2 і вторинний прилад 3 до електричної мережі за допомогою тумблера 7, змінюючи краном 5 прохідний переріз. Послідовно встановлювати показчик вторинного приладу 3 на позначки відповідно до табл. 5.1 та одночасно здійснювати фіксацію результатів вимірювання перепаду тиску по дифманометру 2 та витрати по ротаметру 4. Після закінчення градуювання для раніше узгодженої позначки оцінити похибку за результатом однократного вимірювання. Після закінчення роботи виключити живлення приладів тумблером 7.

5.3 Обробка результатів вимірювання

За паспортними даними вторинного приладу і дифманометра визначити похибку вимірювання витрати за формулами:

$$\Delta = 1,1\sqrt{\sum \Delta_i^2}; \quad (5.1)$$

$$\Delta_i = \frac{\gamma_i \cdot X_{\text{макс}}}{100}, \quad (5.2)$$

де Δ_i – складові похибок вимірювального комплексу як основної, так і додаткової, м³/год.

$X_{\text{макс}}$ – верхня межа вимірювання приладу, визначається в процесі градуювання шкали, м³/год.

Паспортні дані вимірювального комплексу:

- клас точності діафрагми $\square_d = 1 \%$;
- клас точності вторинного приладу $\square_{\text{вс}} = 0,25 \%$;
- клас точності дифманометра $\square_{\text{дм}} = 0,15 \%$.

Додаткові похибки дифманометра за нормативною документацією:

- від зміни температури відносно 25 °C на кожні 10 °C:

$$\gamma_t = \left(0,075 + 0,015 \cdot \left(\frac{\Delta P_{\text{макс}}}{\Delta P_{\text{вимір}}} \right) \right);$$

- від зміни напруги живлення від 15 В до 42 В ($\square_u = 0,005 \%$);

- від зовнішніх електромагнітних полів ($\square_m = 0,15 \%$).

Діапазон вимірювання дифманометра 0-4 кПа (0-100 %). У процесі розрахунку складових похибки для дифманометра необхідно спочатку визначити їх з урахуванням перепаду тиску, а потім перерахувати їх в одиницях витрати.

За результатами градуювання побудувати графік у координатах – «номер позначки – витрата повітря» за прямим, зворотним ходом показчика та середнім значенням. Після чого оцінити варіацію показань за рівнянням:

$$b = \frac{\sum (V_i^{np} - V_i^{36})}{n}, \quad (5.3)$$

де n – кількість вимірів.

Контрольні питання

1. Класифікуйте засоби вимірювання, застосовані в роботі.
2. У якій формі може бути виражений клас точності приладу?
3. Чим зумовлені основна і додаткова похибки вимірювань?
4. За яким принципом здійснюється вимірювання витрати у засобах, застосованих у роботі?

Лабораторна робота 6

НАЛАГОДЖЕННЯ ПРОГРАМИ КОНФІГУРУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО МОДУЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Мета роботи: ознайомитись з функціональними можливостями та структурою перетворювача; придбати навички налагодження програми конфігурування та засвоїти методику визначення метрологічних характеристик перетворювача.

6.1 Опис функціональних можливостей перетворювача та лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда, відображає загальну структуру перетворювача та його зовнішні електричні з'єднання, (рис. 6.1).

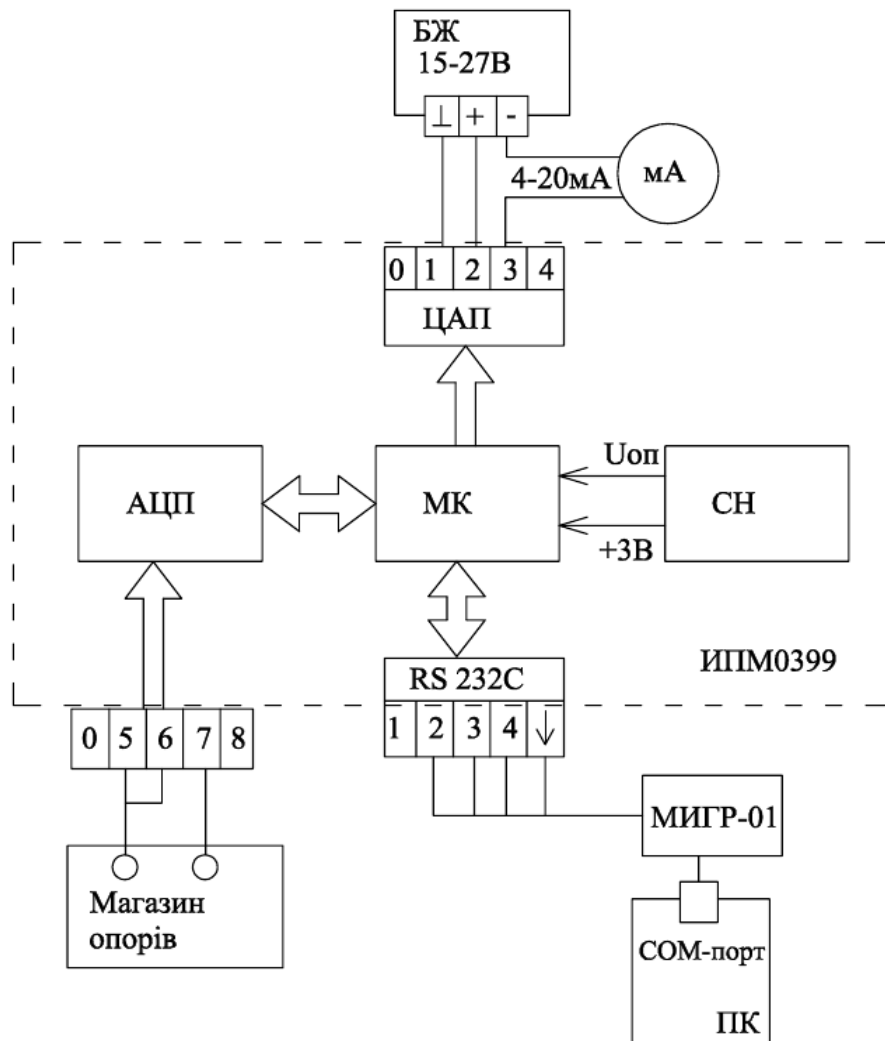


Рис. 6.1. Схема лабораторного стенда

Вимірювальний перетворювач модульний ИПМ 0399/М0 забезпечує перетворення сигналів термометрів опору (ТО), термоелектричних перетворювачів (ТЕП) і перетворювачів з уніфікованим вихідним сигналом в уніфіковані сигнали постійного струму $0 \div 5$ або $4 \div 20$ мА. Згідно рис. 6.1 перетворювач ИПМ – це системний модуль, до складу якого входять стабілізатор (СН) напруги ($+3 В$) з джерелом опорної напруги ($U_{оп}$), мікроконтролер керування (МК) з інтерфейсом RS232C, аналого-цифровий (АЦП) та цифрово-аналоговий (ЦАП) перетворювачі. Для зовнішніх підключень передбачений з'єднувальний модуль з клемними колодками та інтерфейсний кабель з пристроєм гальванічного розв'язування модулю ИПМ з персональним комп'ютером (ПК).

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) перетворює вхідний аналоговий сигнал у код, що надходить далі у мікроконтролерний блок керування (МК). МК розраховує поточне значення вимірюваної величини опору (за даними опитування АЦП), здійснює його перетворення (лінеаризація, масштабування, витягання квадратного кореня), керує модулями АЦП і перетворювачів струму (ЦАП) та здійснює зв'язок по інтерфейсу RS232C з комп'ютером (ПК). Модуль (ЦАП) перетворює код вимірюваного сигналу, що надходить від МК через оптронну розв'язку, у вихідний струм. Для виконання операцій конфігурування ИПМ (тип первинного перетворювача, схема підключення ТС, кількість одиничних вимірів для усереднень, межі діапазону перетворення вхідного сигналу, межі діапазону вимірюваних величин, функція витягання квадратного кореня) за допомогою ПК з використанням спеціального програмного забезпечення по інтерфейсу слугує модуль МИГР-01.

6.2 Порядок виконання роботи

Ознайомитися зі схемою лабораторного стенда і підготувати табл. 6.1 для запису результатів вимірювань.

Подати живлення до системного блоку персонального комп'ютера (ПК) і пристрою «ИПМ 0399 Ех/М0» та визначити номер порту до якого підключений перетворювач. Фізично інтерфейсний кабель (RS 232) підключений до СОМ-порту, який розташований позаду системного блоку ПК. Це буде СОМ-порт № 1 або № 2.

Таблиця 6.1. Результати вимірювань

Величина опору R_d на вході ИПМ з НСХ $Pt100$, Ом	Величина температури t_d , що від- повідає опору R_d , °C	Величина сили струму $I_{вих}^{Pi}$ на виході ИПМ, мА	Величина температури вимірюваної t_{BO} , °C	Значення абсолют- ної похибки Δt_i , °C	Величина наведеної похибки γ_i , %
80,3	- 50				
100,0	0				
119,4	50				
130,9	80				
146,0	120				
194,1	250				
204,9	280				

236,7	370				
284,3	510				
304,0	570				
313,7	600				

Для виконання лабораторної роботи потрібно запустити програму конфігурування мікропроцесорного перетворювача в уніфікований струмовий сигнал 4÷20 мА шляхом натискання на іконці «ІРМ 0399_М0» подвійним кліком миші. Запустити вже створену програму конфігурування можна і стандартним способом, послідовно натиснувши на кнопку «Пуск» та в переліку програм «Всі програми», обравши папку «Elemen» та ім'я програми «ІРМ 0399_М0». Вікно із запущеною програмою конфігурування перетворювача наведено на (рис. 6.2).

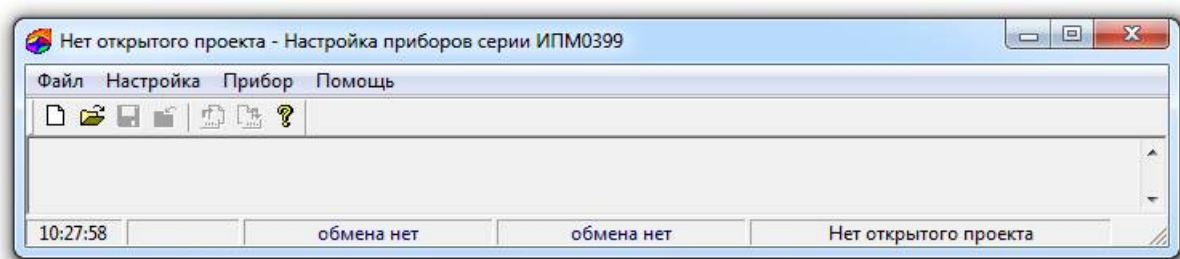



Рис. 6.2. Вигляд вікна із запущеною програмою конфігурування перетворювача

Далі необхідно відкрити вже створений проект. Для цього необхідно ліву кнопку (ЛК) миші клікнути відповідно по піктограмі . Цю операцію можна виконати також з використанням команди «Открыть проект» (Ctrl-O) в переліку меню «Файл», як це показано на фрагменті вікна програми згідно рис. 6.3.

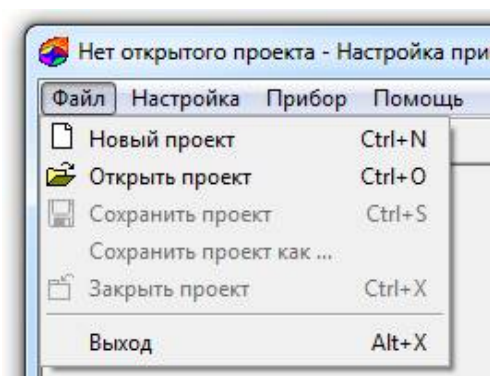


Рис. 6.3. Фрагмент вікна програми для відкриття вже створеного проекту

Після виконаних дій в програмі з'явиться випадаюче вікно (рис. 6.4) з попередженням про необхідність зчитати дані з пристрою.

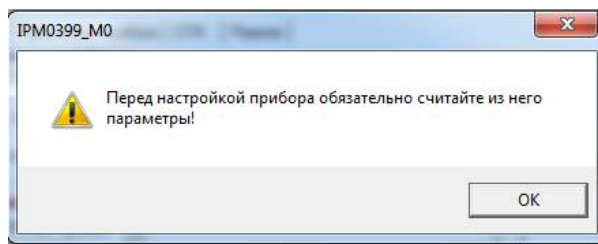


Рис. 6.4. Вигляд випадаючого вікна програми

Далі необхідно натиснути ліву кнопку (ЛК) миші на кнопку «OK» для закриття цього вікна. При цьому відкривається вікно програми з активованим вкладенням «Настройка связи с прибором». У цьому вкладенні необхідно обрати потрібний номер COM-порту та потрібні настройки (швидкість обміну даними та адресу пристрою). В нашому випадку номер COM-порту – «2», швидкість – 9600 біт/с та адреса – «1», як це показано на рис. 6.5.

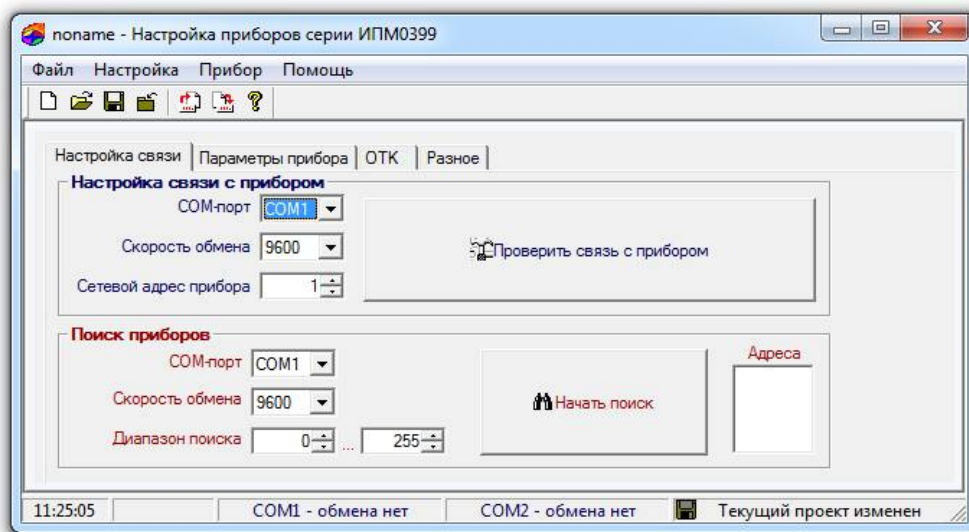



Рис. 6.5. Вигляд вікна з активованим вкладенням «Настройка связи с прибором»

Якщо у пристрої інші настройки, необхідно встановити їх значення в потрібних вікнах зі стрілками у полі «Настройка связи с прибором».

Після налаштування COM-порту пристрою необхідно натиснути ЛК миші на кнопку «*Проверить связь с прибором*». За наявності помилок настройок у програмі з'явиться вікно «*Ошибка*» з повідомленням «*Нет связи с прибором*». У випадку, якщо настройки невідомі, запускається сканування в полі «*Поиск прибора*» шляхом натискання ЛК миші на кнопку «*Начать поиск*». Програма здійснює пошук завдяки скануванню адреси пристрою у вказаному діапазоні на обраних швидкостях. Далі налаштуйте відповідні поля згідно результатів пошуку та знову ЛК миші натисніть на кнопку «*Проверить связь с прибором*». Якщо зв'язок з пристроєм встановлений, то виводиться діалогове вікно з написом «*Связь установлена*» та пропозицією зчитати параметри з пристрою. У разі погодження з цією пропозицією програма автоматично почне запитувати інформацію про конфігураційні параметри пристрою з його енергонезалежної пам'яті (флеш-пам'яті).

Зчитані параметри потрібно зберегти на жорсткому диску ПК. Для цього використовується піктограма  або команда «*Сохранить проект как...*» у переліку меню «*Файл*», як це показано на фрагменті вікна програми згідно рис. 6.6.

Далі у відкритому вікні вкажіть ім'я та місце зберігання конфігураційного файлу, як це показано на рис. 6.7.

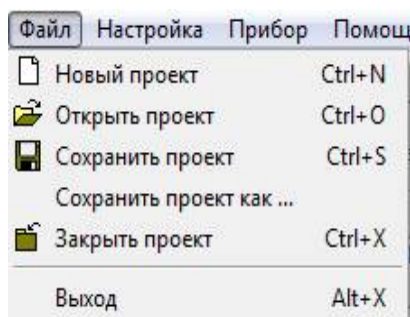


Рис. 6.6. Фрагмент вікна програми з переліку меню «*Файл*»

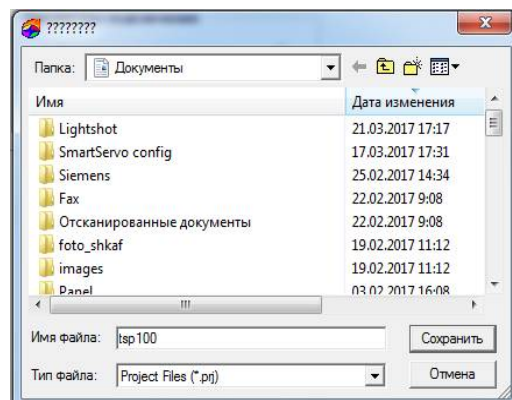


Рис. 6.7. Вигляд вікна для зберігання конфігураційного файлу

У цій лабораторній роботі зчитаний конфігураційний файл може відрізнятися від необхідних настройок для проведення досліджень. За таких обставин необхідно встановити у відповідних полях потрібні настройки

перетворювача, які мають відповідати фрагменту вікна програми із вкладенням «*Параметры прибора*», згідно рис. 6.8.

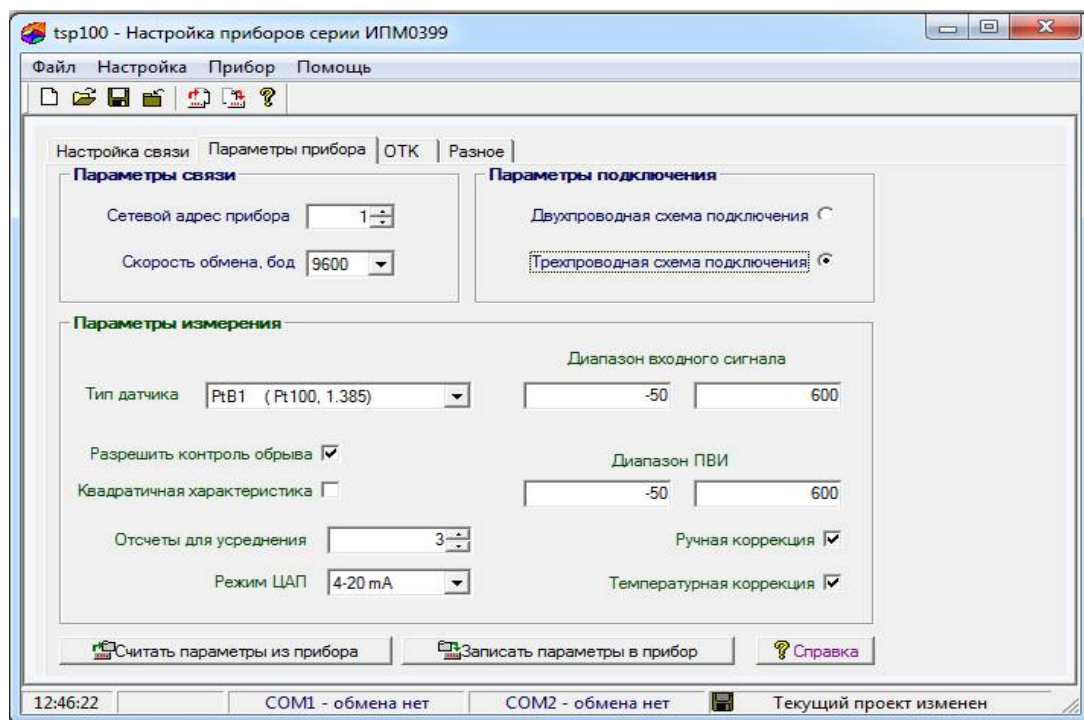


Рис. 6.8. Фрагмент вікна програми із вкладенням «*Параметры прибора*»

У відповідності з рис. 6.8 у цій лабораторній роботі використаний магазин опорів, за допомогою якого імітується НСХ термометру опору «*Pt 100*» з термічним коефіцієнтом опору $W = 1,385$. Магазин опорів підключений до ИПМ за двопровідною схемою. Також у цьому вікні наведені діапазони вхідного сигналу та настройки ЦАП, вихідний сигнал ЦАП (4÷20 мА), що виведений на міліамперметр.

Якщо параметри згідно рис. 6.8 відповідають потрібним, то необхідно записати їх до пам'яті пристрою. Для цього достатньо ПК миші натиснути на кнопку «*Записать параметры в прибор*» або на відповідну піктограму у вікні (рис. 6.9).

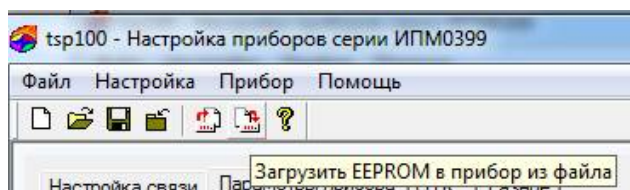


Рис. 6.9. Вигляд вікна програми для запису параметрів до пам'яті пристрою

Закладка «ОТК» програми призначена для контролю працездатності модуля вимірювання, тобто АЦП.

Для перевірки пристрою та виконання метрологічних досліджень необхідно таке.

Встановити параметри окремої підгрупи, як це показано на рис. 6.10.

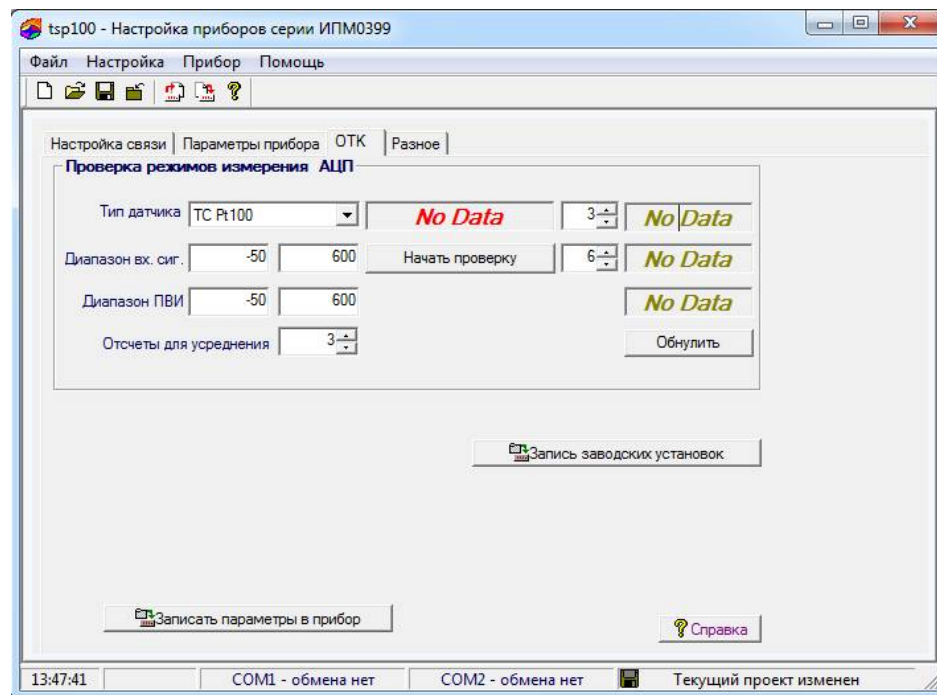


Рис. 6.10. Фрагмент вікна програми для перевірки режимів вимірювання АЦП

Натиснути кнопку «Нажать проверку». Параметри, відповідні параметрам підгрупи «Параметры измерения» на закладці «Параметры прибора», будуть записані в прилад. Назва кнопки зміниться на «Остановить проверку» і почнеться циклічне читання вимірюваного пристроєм значення. В ході циклічного читання проводиться обчислення максимального, мінімального та середнього значень вимірювань. Для скидання статистики має бути натиснута кнопка «Обнулить».

Натиснути кнопку «Остановить чтение» у разі задовільних результатів перевірки. При цьому буде відновлена попередня конфігурація АЦП пристрою.

На закладці «Разное» програми налаштування (рис. 6.11) здійснюється циклічне читання вимірюваного пристроєм значення. Для запуску читання

необхідно натиснути кнопку «Запустить чтение». При цьому назва кнопки зміниться на «Остановить чтение». Отримані результати читання температури t_B у ході зміни опору згідно табл. 6.1 занести до відповідного її стовпця.

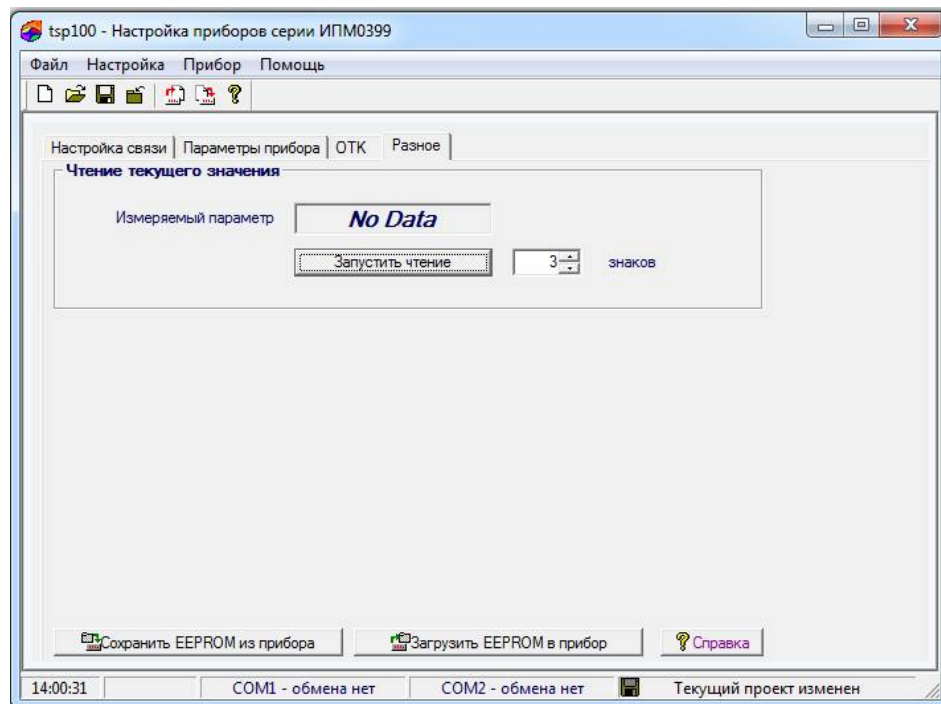


Рис. 6.11. Фрагмент програми для читання поточного значення параметра

Для зупинки циклічного читання значень температури з пристрою необхідно натиснути кнопку «Остановить чтение».

Після виконання вимірювань закрити відповідний файл програми, вимкнути системний блок та приступити до обробки експериментальних даних.

6.3 Обработка результатов измерений

Визначити для перетворювача ИПМ розрахункове значення вихідного струму $I_{вих}^{Pi}$, що відповідає вказаним у табл. 6.1 значенням t_D стовпця 2 з наведеного рівняння:

$$t_{Di} = \frac{(I_{вих}^{Pi} - I_{вих}^H)}{(I_{вих}^B - I_{вих}^H)} (t_D^B - t_D^H) + t_H, \quad (6.1)$$

де $I_{вих}^H$, $I_{вих}^B$ – відповідно нижня (4 мА) та верхня (20 мА) межа уніфікованого вихідного сигналу згідно табл. 6.1;

t_D^B , t_D^H – відповідно нижня (-50°C) та верхня (600°C) межа температури.

За результатами вимірювання t_{Bi} стовпця 4 визначити абсолютну похибку за формулою:

$$\Delta t_i = t_{Bi} - t_{Di} \quad (6.2)$$

Визначити наведену похибку γ_i за рівнянням:

$$\gamma_i = \frac{\Delta t_i}{t_D^B - t_D^H} 100\% \quad (6.3)$$

При цьому величина Δt_i повинна відповідати нормативним умовам. Для класу виконання А перетворювача межі припустимої абсолютної похибки мають відповідати таким показникам:

$$\Delta t_i \leq \pm 0,23^\circ\text{C} \text{ у діапазоні } -50 \div 200^\circ\text{C}; \quad (6.4)$$

$$\Delta t_i \leq \pm 0,72^\circ\text{C} \text{ у діапазоні } +200 \div 600^\circ\text{C} \quad (6.5)$$

Для класу виконання В межі припустимої абсолютної похибки не перевищувати таких значень:

$$\Delta t_i \leq \pm 0,45^\circ\text{C} \text{ у діапазоні } -50 \div 200^\circ\text{C}; \quad (6.6)$$

$$\Delta t_i \leq \pm 1,42^\circ\text{C} \text{ у діапазоні } +200 \div 600^\circ\text{C} \quad (6.7)$$

Розрахункове значення основної наведеної похибки γ_i в усьому діапазоні вимірювань не повинно перевищувати нормативного значення γ_H для ИПМ, яке визначається за формулами:

$$\gamma_H = \pm \left(\frac{0,23}{x_N} \cdot 100 + 0,75 \right) \%, \text{ для класу А;} \quad (6.8)$$

$$\gamma_H = \pm \left(\frac{0,45}{x_N} \cdot 100 + 0,15 \right) \%, \text{ для класу В,} \quad (6.9)$$

де x_N – нормоване значення температури, °С.

За результатами розрахунків зробити висновок про відповідність приладу ИПМ нормативно-технічним показникам та визначити до якого класу виконання А чи В слід віднести прилад ИПМ. Побудувати графіки статичних характеристик приладу: $I_{вих}^{Pi} = f(t_D)$ та $I_{вих}^{Pi} = f(t_B)$.

Контрольні питання

1. Основні складові перетворювача ИПМ та їх функціональне призначення.
2. Що таке номінальна статична характеристика перетворювача ИПМ?
3. У чому полягає методика повірки перетворювача ИПМ?
4. Чим обумовлений вибір нормованого значення при обчисленні наведеної похибки вимірювання?
5. Які параметри конфігурування мають бути встановлені до початку проведення повірки перетворювача ИПМ?

Лабораторна робота 7

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ПОБІЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

Мета роботи: засвоїти алгоритм визначення похибки побічного вимірювання із застосуванням методу безпосереднього диференціювання (лінеаризації).

7.1 Опис лабораторного стенда

На рис. 7.1 наведена схема лабораторного стенда, що містить блок живлення БЖ напругою 24 В постійного струму, тумблер T_0 подачі напруги для живлення БЖ з сигнальною лампою H_1 , тумблер T_1 подачі живлення в схему

вимірювання опору R_x за допомогою міліамперметра А і вольтметра V та змінний опір R_0 для встановлення величини струму по міліамперметру А.

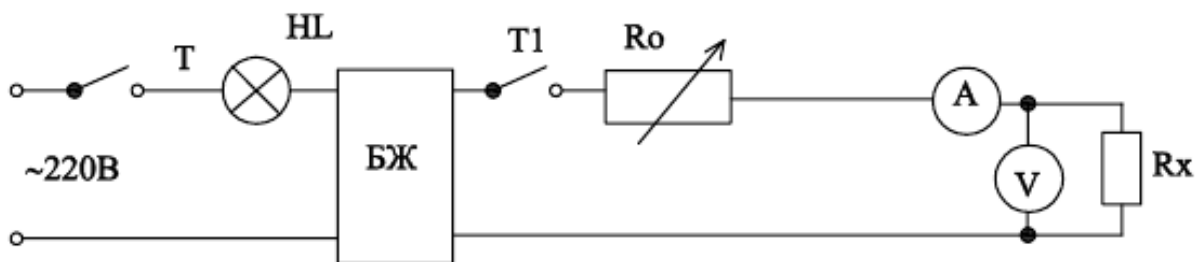


Рис. 7.1. Схема лабораторного стенда

7.2 Порядок виконання роботи

Ознайомитись зі схемою лабораторного стенда та підготувати табл. 7.1 для запису результатів вимірювань.

Тумблером T_0 подати живлення на блок БЖ. Встановити змінний опір R_0 у середнє положення та провести шляхом замикання тумблера T_1 низка вимірювань величини струму I_i та напруги U_i у кількості $n = 7$. Результати при кожному вимірюванні цих величин записувати до табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Результати вимірювань

Номер спостереження n	Величина струму I_i , мА	Величина напруги U_i , В	Значення різниці $(U_i - \bar{U})$, В	Значення квадрату різниці $(U_i - \bar{U})^2$, В ²	Значення різниці $(I_i - \bar{I})$, мА	Значення квадрату різниці $(I_i - \bar{I})^2$, мА ²
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
Сума						

7.3 Обробка результатів вимірювань

Визначити середнє значення струму \bar{I} та напруги \bar{U} за формулами:

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 I_i ; \quad (7.1)$$

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 U_i \quad (7.2)$$

Визначити середні значення дисперсій струму $S^2(\bar{I})$ і напруги $S^2(\bar{U})$ за рівняннями:

$$S^2(\bar{I}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 (I_i - \bar{I})^2 ; \quad (7.3)$$

$$S^2(\bar{U}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 (U_i - \bar{U})^2 \quad (7.4)$$

У відповідності із залежністю для опору R_x (Ом) визначити результат його вимірювання за формулою:

$$\overline{R_x} = \bar{U} / \bar{I} \quad (7.5)$$

Оцінку середньоквадратичного відхилення випадкової похибки результату вимірювання обчислити за рівнянням:

$$S(\overline{R_x}) = \sqrt{\left(\frac{\partial R_x}{\partial U}\right)^2 S^2(\bar{U}) + \left(\frac{\partial R_x}{\partial I}\right)^2 S^2(\bar{I})} \quad (7.6)$$

З урахуванням рівняння (7.5) формула (7.6) буде мати такий вигляд:

$$S(\overline{R_x}) = \sqrt{\frac{1}{\bar{I}^2} S^2(\bar{U}) + \left(\frac{\bar{U}}{\bar{I}^2}\right)^2 S^2(\bar{I}) + \Delta R_A}, \quad (7.7)$$

де ΔR_A – похибка внутрішнього опору амперметра ($R_A = \text{Ом}$) визначається як похибка табличних даних, тобто при $R_A = 0,15 \text{ Ом}$, $\Delta R_A = 0,005 \text{ Ом}$.

Запис результату вимірювання представити у вигляді:

$$\overline{R_x}; \quad S(\overline{R_x}); \quad n = 7$$

Провести оцінку основної похибки за результатом однократного вимірювання опору R_x , наприклад за номером $i=3$ табл. 7.1. При цьому за паспортними даними вольтметра V і амперметра A відомо, що межі їх вимірювання складають відповідно $0 \div 100$ мВ і $0 \div 20$ мА, а класи точності відповідно 1,0 і 0,5.

За отриманими цими даними розрахунок абсолютної похибки побічного вимірювання ΔR_x виконати за формулою:

$$\Delta R_x = \pm \sqrt{\left[I^2 (\Delta U)^2 + U^2 (\Delta I)^2 \right] / I^4 + \Delta R_A}, \quad (7.8)$$

де ΔU і ΔI – значення абсолютних похибок вимірювання напруги і струму розраховуються за відповідними класами точності приладів.

Обчислити відносну похибку за даними однократного вимірювання за рівнянням:

$$\delta_R = \Delta R_x / R_x = \pm \sqrt{(\Delta U / U)^2 + (\Delta I / I)^2}, \quad (7.9)$$

де R_x – величина опору, розраховується за результатом однократного вимірювання напруги і струму, Ом.

Контрольні питання

1. Що таке центральний момент другого порядку?
2. Як визначити величину середньоквадратичного відхилення по графіку функції щільності розподілу випадкової величини?
3. За якими показниками визначається систематична складова похибка вимірювань?
4. У чому полягає метод лінеаризації в процесі визначення похибки побічного вимірювання?

5. За якою формулою оцінюють номінальну статичну характеристику термоопору за будь-якої температури?

Лабораторна робота 8

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА І ПОХИБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ІЗ АНАЛОГО-ЦИФРОВИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

Мета роботи: засвоїти методику перерахунку значення коду аналого-цифрового перетворювача в значення параметра та визначення похибки інформаційно-вимірювального каналу перетворення.

8.1 Опис лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда, що складається з джерела регульованої напруги типу ИРН, нормуючого перетворювача постійної напруги в уніфікований струмовий сигнал $0 \div 5$ мА типу ПТ-ТП, аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та цифрового вольтметра типу В7-20 для вимірювання постійної напруги (рис. 8.1).

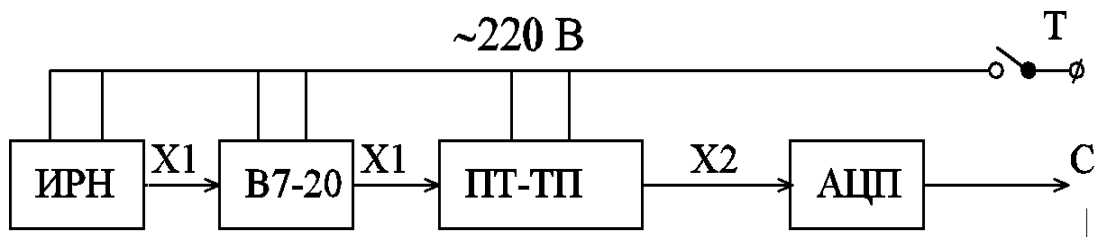


Рис. 8.1 Схема інформаційно-вимірювального каналу ІВК перетворення сигналу: X_1 – параметр вимірювання (постійна напруга); X_2 – сигнал постійного струму; C – код на виході АЦП з розрядністю $r = 10$

8.2 Порядок виконання роботи

Ознайомитись зі схемою лабораторного стенда. Тумблером Т подати електроживлення до ИРН, ПТ-ТП та В7-20. Згідно табл. 8.1 послідовно встановлювати за допомогою ИРН значення постійної напруги X_1 , фіксуючи її по показанням приладу В7-20. При цьому одночасно необхідно фіксувати показання двійкового коду С на виході АЦП.

Таблиця 8.1 Результати вимірювань

Температура Т, °С	Величина постійної напруги X_1 , мВ	Фактичне значення постійної напруги X_{1P} , мВ	Фактичне значення постійного струму X_{2P} , мА	Двійковий код С на індикаторі АЦП	Числовий код С* на індикаторі АЦП	Абсолютна похибка ІВК перетворення ΔX_1 , мВ	Наведена похибка ІВК перетворення γ , %
0	0,000						
20	1,303						
40	2,658						
60	4,050						
80	5,469						
100	6,898						
120	8,366						
140	9,865						
150	10,624						

8.3 Обробка результатів вимірювань

За отриманим двійковим кодом С на виході АЦП визначити числовий код C^* за формулою:

$$C^* = \sum_{r=0}^9 a_r 2^r, \quad (8.1)$$

де a_r – статус r-го розряду АЦП або 0 чи 1;

r – відповідний розряд АЦП від меншого (праворуч) до більшого (ліворуч).

Наприклад по показанням АЦП отримано код С у вигляді: 1001001101. Згідно формули (8.1) отримуємо величину числового коду C^* таким чином:

$$C^* = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^9 = 589.$$

Розрахувати максимальний числовий код C_{MAX}^* на виході АЦП при $r=10$ за рівнянням:

$$C_{MAX}^* = 2^r - 1. \quad (8.2)$$

Визначити сигнал X_{2P} на виході нормуючого перетворювача ПТ-ТП за рівнянням:

$$X_{1P} = \frac{(X_{2MAX} - X_{2MIN}) \cdot C^*}{C_{MAX}^*} + X_{2MIN}, \quad (8.3)$$

де $X_{2MAX}=5$ мА, а $X_{2MIN}=0$ мА.

Обчислюється сигнал X_{1P} на вході нормуючого перетворювача ПТ-ТП за формулою:

$$X_{2P} = \frac{X_{2P} - X_{20}}{K_{НП}} + X_{10}, \quad (8.4)$$

$$K_{НП} = \Delta X_2 / \Delta X_1, \quad (8.5)$$

де X_{20} – значення вихідного сигналу нормуючого перетворювача ПТ-ТП за вхідного сигналу $X_{10}=0$;

$K_{НП}$ – коефіцієнт передачі нормуючого перетворювача.

Розрахувати наведену похибку ІВК за рівнянням:

$$\gamma = \frac{\Delta X_1}{X_N} \cdot 100\%, \quad (8.6)$$

де $\Delta X_1 = |X_{1P} - X_1|$ – абсолютна похибка ІВК, мВ;

X_N – нормоване значення, мВ.

Результати обчислень за формулами (8.1) – (8.6) занести до табл. 8.1 та присвоїти клас точності ІВК перетворення згідно стандартного ряду.

Провести перевірку щодо можливості застосування АЦП з розрядністю $r=10$ у процесі вимірювання температури термopарою типу ТХК у діапазоні $0\div 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ з точністю $\Delta\text{ (}^{\circ}\text{C)}$ заданою викладачем за наведеним алгоритмом.

Визначити відносну похибку вимірювання δ за рівнянням:

$$\delta = \Delta / X_{MAX}, \quad (8.7)$$

де X_{MAX} – максимальне значення діапазону вимірювання, $^{\circ}\text{C}$.

Розрахувати величину кроку квантування Δ_{KB} за рівнем АЦП за формулою:

$$\Delta_{KB} = 1 / (2^r - 1) \quad (8.8)$$

У разі виконання умови $\Delta_{KB} < \delta$, то обрану розрядність АЦП слід залишити. Якщо ця умова не виконується, необхідно визначити з якою точністю буде здійснюватись вимірювання температури за розрядності $r = 10$.

Контрольні питання

1. У яких випадках необхідно застосування узгоджуючи перетворювачів?
2. Яку функцію виконують нормуючі перетворювачі в загальній схемі автоматичної системи регулювання?
3. Перелічити основні діапазони зміни уніфікованих сигналів, що застосовуються в системах автоматичного регулювання.
4. У яких апаратних засобах системи управління в основному застосовуються АЦП та ЦАП?
5. Основні форми вираження класу точності засобів вимірювання.

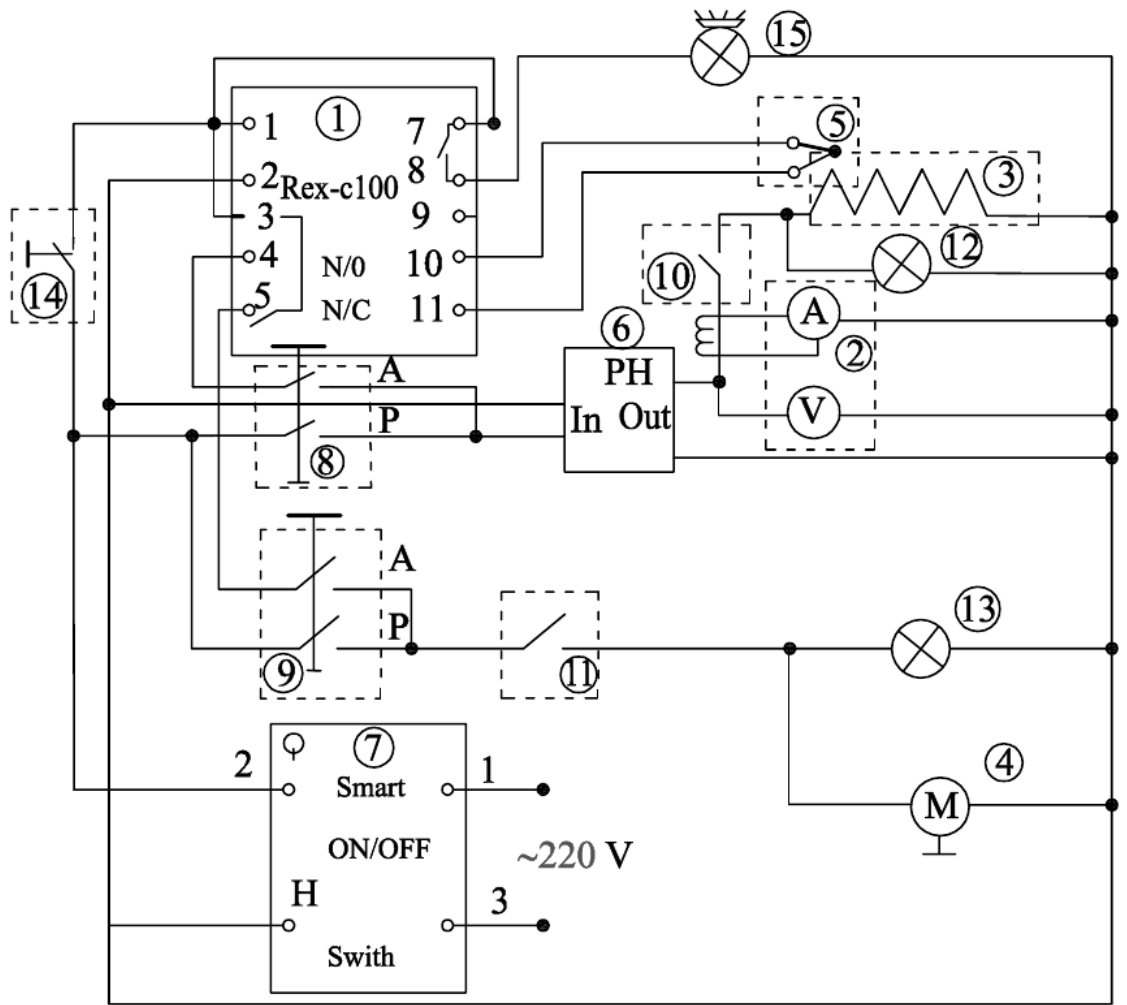


Рис. 9.2. Загальна схема електричних з'єднань лабораторного стенда АСР температури

Стенд складається з регулятора 1, комбінованого приладу 2 для вимірювання струму I , напруги U та споживчої потужності N , електричної печі 3, вентилятора 4 для обдування електричної печі, термоелектричного перетворювача 5 типу ТП-2488/4 з НСХ J (ЖК) і діапазоном вимірювання $-40 \div 400^\circ \text{C}$, лінійного регулятора напруги 6 для завдання в ручному (P) режимі напруги живлення спіралі електричної печі в діапазоні $100 \div 250 \text{ V}$, перемикача 7 вмикання електричного живлення стенда, перемикачів режимів керування P (ручне) або A (автоматичне) нагрівачем 8 і охолоджувачем 9, кнопок вмикання та вимикання нагрівача 10 та охолоджувача 11, індикаторів стану нагрівача 12 та охолоджувача 13, кнопки 14 вмикання і вимикання живлення регулятора 1 та індикатора 15 зі звуковою сигналізацією аварійного стану.

Мікропроцесорний прилад REX–C100 є локальним пропорційно-інтегральним-диференціальним (ПІД) регулятором з універсальним аналоговим входом та різноманітними дискретними вихідними елементами.

Лицьова передня панель ПІД-регулятора для оперативного керування АСР зображена на рис. 9.3.

На цій панелі в оперативному режимі відображаються на 4-х розрядних цифрових індикаторах значення параметру регулювання PV (червоний колір) та завдання SV (зелений колір). Діапазон відображення на цих індикаторах від –1999 до +1999. У лівій частині лицьової панелі розташовані світлодіоди, що відображають режими роботи АТ, наявність аварійного стану ALM1, ALM2 та стан вихідного дискретного виходу OUT1. У нижній частині лицьової панелі знаходяться кнопки керування режимами SET та вибору розрядності та значень параметрів налаштування («<», «Δ», «>»).



Рис 9.3. Лицьова панель оперативного керування регулятора REX-C100

Регулятор має можливість підключення на його вхід термометрів опору, термопар та уніфікованих сигналів напруги чи струму. В лабораторному стенді до регулятора підключена термопара. Для усунення похибки, що може бути зумовлена зміною зовнішньої температури, в регуляторі встановлена автоматична компенсація на рівні 2° С, яка може бути програмно змінена в

діапазоні від 0 до 50° С. Як вихідні пристрої регулятора можуть бути використані оптосимістор, електромагнітне та напівпровідникове реле, як безпосередньо, так і для комутації більш потужних вихідних пристроїв (магнітні пускачі, тиристори, симістори, твердотільні реле). Регулятор, встановлений на стенді, має релейний вихід. Узагальнена структура регулятора представлена на рис. 9.4.

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) приладу має 14-бітову роздільну здатність і час вибірки 0,5 сек, що забезпечує точність вимірювання параметрів на рівні 0,5 %.

Зважаючи на структурну схему приладу (рис. 9.4), для зменшення впливу випадкових завад використано цифровий фільтр (демпфер). Глибина цифрового фільтру визначається постійною часу фільтрації, яка встановлюється при налаштуванні приладу. Діапазон постійної часу фільтрації може бути встановлений від 0 сек до 100 сек. Значення параметру 0 с означає, що фільтр вимкнений.

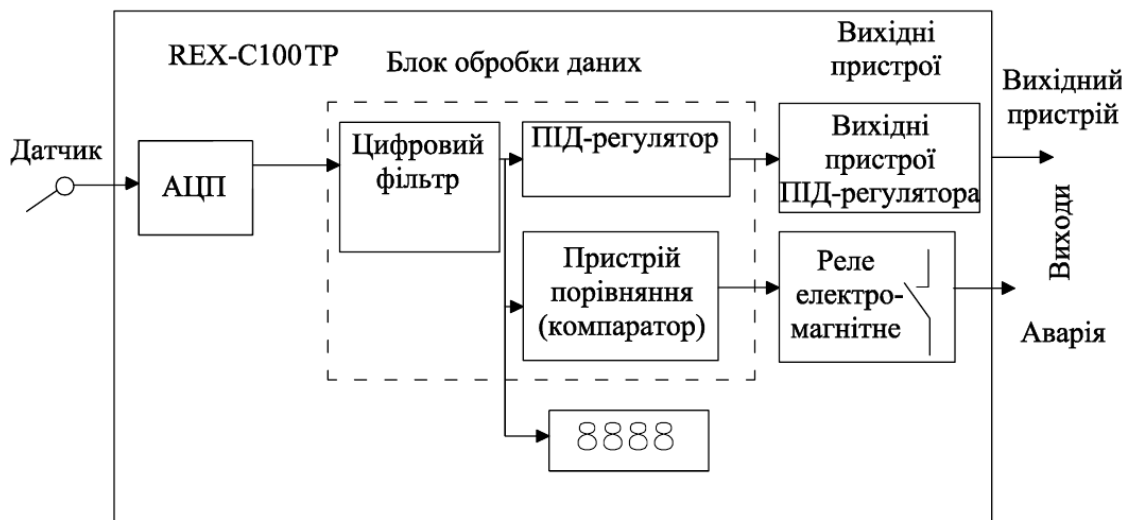


Рис. 9.4. Узагальнена структура мікропроцесорного регулятора REX-C100

Узагалі регулятор дозволяє реалізувати ПІД та позиційний закони регулювання. При аналоговому регулюванні значення вихідного сигналу Y_i визначається таким рівнянням:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \left(E_i + T_\partial \frac{\Delta E_i}{\Delta t} + \frac{1}{T_i} \sum_{i=1}^n E_i \Delta t \right) \cdot 100 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (9.1)$$

де X_p – межа пропорційності;

E_i – різниця між заданими $\Theta_{зад}$ та поточним Θ_i значеннями вимірюваної величини чи розбіжність;

T_∂ – постійна часу диференціювання;

ΔE_i – різниця між двома сусідніми значеннями E_i і E_{i-1} ;

Δt – час між двома сусідніми вимірюваннями Θ_i і Θ_{i-1} (час між двома опорними імпульсами $\Delta t = 0,5$ сек);

T_i – постійна часу інтегрування.

Вибір закону регулювання визначається встановленням параметрів регулювання. Коефіцієнт пропорційності може бути встановленим у діапазоні від 0 до максимального значення в одиницях вимірюваного параметру. Час інтегрування та диференційна складова можуть бути встановленими в діапазоні 0÷3600 сек. Період обчислення пропорційної складової може приймати значення 1÷100 сек. У випадку коли всі параметри регулювання дорівнюють нулю прилад виконує функцію позиційного регулятора (компаратора), тобто *ON/OFF*- регулятора. Гістерезис позиційного регулятора може приймати значення в діапазоні 1÷100 °C або в інших одиницях вимірюваного параметра.

Якщо аналоговий регулятор працює в режимі широтно-імпульсної модуляції (ПІД-закон регулювання з дискретним вихідним елементом), то його вихідний сигнал, наприклад, який лежить у діапазоні 4÷20 мА, перетворюється в послідовність керуючих імпульсів, довжина D кожного з яких визначається за формулою:

$$D = Y_1 \frac{T}{100\%}, \quad (9.2)$$

де T – період між початками появи імпульсів, задається програмно в залежності від типу вихідного пристрою регулятора (електромагнітне реле, безконтактні ключі тощо). Для реле $T_{\min} = 200$ мсек, для ключа – $T_{\min} = 6$ мсек.

Для роботи в релейному режимі (позиційне регулювання) використовується пристрій порівняння, який дозволяє згідно рис. 9.5 задавати два типи логіки: прямий (нагрівання – логіка 1) та зворотній (охолодження – логіка 2) гістерезис. Прямий гістерезис C , застосований в лабораторній роботі, використовується для керування роботою «нагрівача» (електричної печі). При цьому, якщо $\Theta_i < C$, то нагрівач вмикається (наприклад, за допомогою реле), а якщо $\Theta_i > C$, то нагрівач вимикається. Зворотній гістерезис може бути застосований для керування роботою «охолоджувача» (наприклад, вентилятор), тобто вихідне реле вмикається при значенні $\Theta_i > C$ і вимикається при $\Theta_i < C$.

9.2 Порядок виконання роботи

9.2.1 Підготовка лабораторного стенда

Перемикач 7 встановити в положення «0», а перемикачі режимів керування нагрівачем 6 і охолоджувачем 9 у положення «Р». Лінійний регулятор напруги 6 встановити в крайнє ліве положення, що відповідає мінімальному значенню живлення електричної печі. Далі встановити перемикач 7 у положення «1» та впевнитись за допомогою індикаторів стану нагрівача 12 і охолоджувача 13, що вони вимкнені.

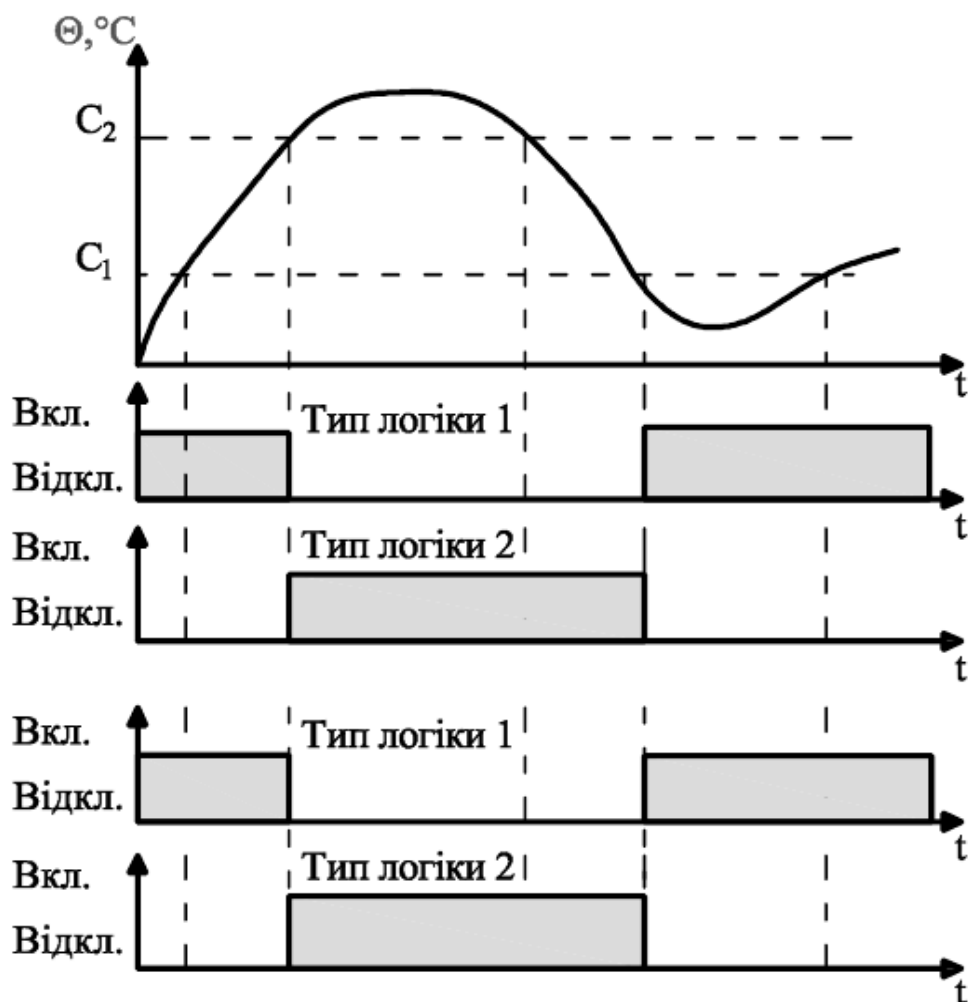


Рис. 9.5. Типи логіки компаратора приладу в позиційному режимі роботи

9.2.2 Вмикання мікропроцесорного регулятора

Подати живлення до мікропроцесорного регулятора 1 шляхом натискання кнопки 14. Після вмикання регулятора впродовж трьох секунд на двох цифрових індикаторах будуть відображатися, послідовно змінюючись два рази, показання основних його налаштувань у вигляді символів. Спочатку на індикаторі PV з'явиться символ «InP», а на індикаторі SV – тип датчика та одиниці вимірювання. Потім з'явиться діапазон вимірювання параметра: верхній рівень – на індикаторі PV, нижній рівень – на індикаторі SV. Переконайтесь, що тип датчика на індикаторі SV відповідає термопарі з НСХ ЖК (J) – символ «J», одиниця вимірювання на індикаторі SV відповідає °C,

верхній рівень температури на індикаторі PV має бути 399°C , а нижній на індикаторі SV – 0°C .

9.2.3 Отримання кривої розгону об'єкту та визначення параметрів настроювання регулятора

У ручному режимі (перемикачі 8 і 9 в положенні «Р») увімкнути кнопки 10 і 11, а регулятором 6 встановити напругу нагрівача по показанням приладу 2 на рівні 120 В. Далі необхідно спостерігати за процесом нагрівання печі до усталеного режиму, тобто до моменту, коли температура по показанням регулятора 1 (індикатор PV) буде коливатись біля певного значення впродовж хвилини. Це буде означати, що об'єкт вийшов на певний усталений режим. Далі, не вимикаючи нагрівача, збільшити за допомогою регулятора 6 напругу живлення по показанням приладу 2, наприклад на 10 % до величини 132 В. Після цього необхідно спостерігати та заносити до таблиці одночасно значення температури $\Theta_i (^{\circ}\text{C})$ в певні моменти часу t_i (сек). Спочатку здійснювати фіксацію її через кожні $5\div 10$ сек, а потім реєструвати час зміни температури на 1°C до моменту нового усталеного режиму об'єкта. За даними таблиці виконати обробку отриманих експериментальних даних з метою побудови перехідної характеристики $h(t)$ шляхом нормування кривої розгону і коефіцієнту підсилення за формулами (9.1 і 9.2) та визначити спрощеним методом постійну часу об'єкта T_0 . Далі за рівняннями (9.3) або (9.4) і (9.5) (за вказівкою викладача) обчислити параметри настроювання регулятора.

9.2.4 Встановлення величини завдання регулятора

Для встановлення завдання або зміни його величини необхідно короткочасно натиснути на кнопку SET. Прилад перемкнеться в режим встановлення завдання, тобто параметра SV. На нижньому цифровому індикаторі буде підсвічений молодший розряд, а інші розряди будуть мерехтіти. Це означає, що доступна функція зміни завдання за допомогою кнопок « ∇ » та « Δ ». У цьому режимі, послідовно обираючи необхідний розряд, кнопкою « \triangleleft » можна встановити

потрібне значення, за допомогою кнопки «Δ», що має відповідати останній величині температури отриманого усталеного режиму згідно пункту 9.2.3. Зафіксувати це значення в лабораторному журналі. Для запису встановленого значення завдання потрібно натиснути на кнопку SET. У підсумку регулятор повернеться в оперативний режим з обраною величиною завдання, а індикатори цифрові перейдуть в нормальний режим (без мерехтіння).

9.2.5 Встановлення параметрів настроювання регулятора

Для переходу в режим встановлення параметрів настроювання регулятора (режим редагування) необхідно натиснути на кнопку SET впродовж трьох секунд. При цьому на верхньому цифровому індикаторі PV з'явиться символ оперативного параметра, а на нижньому SV – його поточне значення. Зміна символу здійснюється циклічно шляхом натискання на кнопку SET. Поява на індикаторі PV символу «P» означає відповідність оперативному параметру коефіцієнту пропорційності K_p регулятора. Для встановлення величини K_p згідно розрахунків для П-регулятора необхідно виконати операції, ідентичні викладеним при встановленні завдання. Далі необхідно відключити інтегральну і диференціальну складові, тобто інтегральна складова встановлюється максимально можливою, а диференціальна – мінімально можливою. Слід пам'ятати, якщо нічого не натискати впродовж 30 сек або знову натиснути на кнопку SET впродовж 3 сек, то регулятор повернеться до оперативного режиму роботи.

У разі застосування ПІ-закону регулювання (за вказівкою викладача) додатково після встановлення значення K_p необхідно перейти до символу «I» на індикаторі PV для встановлення значення постійної часу інтегрування T_i .

9.2.6 Отримання кривої перехідного процесу

Введіть збурення в систему по каналу завдання. Для цього необхідно встановити нове значення завдання згідно пункту 9.2.4, збільшивши його на 10 % від попередньо встановленого. Перевірте, що лінійний регулятор напруги б знаходиться у крайньому лівому положенні. Підготуйте таблицю для запису показань зміни температури Θ (°C) в певні моменти часу t (сек). Переведіть перемикачі 8 і 9 в автоматичний режим (А) керування вихідними пристроями та

спостерігайте за зміною температури, заносючи до таблиці значення Θ і t . Спочатку через кожні 3÷5 сек, а потім фіксуйте у таблиці час зміни температури на 1 °С до моменту виходу об'єкта на нове усталене значення завдання $\Theta_{\text{зад}}$. Після запису результатів вимкнути стенд від живлення.

За результатами таблиці побудувати графік перехідного процесу та визначити показники якості регулювання: час регулювання, статичну і динамічну помилку в процесі регулювання.

9.3 Обробка експериментальних даних

Виконати операцію нормування часової характеристики та коефіцієнту підсилення за формулами:

$$h(t) = \Delta\Theta(t) / \Delta\Theta(\infty); \quad (9.3)$$

$$K = \frac{\Theta(\infty) - \Theta(t)}{\Theta(t)} \cdot \frac{U(0)}{U(\infty) - U(0)}, \quad (9.4)$$

де $h(t)$ – нормована перехідна характеристика;

$\Delta\Theta(t) = [\Theta(t) - \Theta(0)]$ – поточне значення приростів вихідної величини (температури);

$\Delta\Theta(\infty) = [\Theta(\infty) - \Theta(t)]$ – максимальне відхилення вихідної величини (температури);

$\Delta U = [U(\infty) - U(0)]$ – ступінчате збурення по вихідній величині (напруги) від сталого значення.

Приклад. Визначити коефіцієнт підсилення печі, в якій здійснюється електронагрів, по експериментальній кривій розгону. Отримання кривої здійснено при ступінчатому збуренні по напрузі живлення на 12 В відносно номінального значення 120 В. Стале значення температури в печі по закінченні перехідного процесу склало 200° С, до збурення ця температура дорівнювала 150° С.

Коефіцієнт передачі в безрозмірному вигляді згідно формули (9.4) буде складати:

$$K_0 = \frac{200-150}{150} \cdot \frac{120}{132-120} = 3,3$$

При цьому для будь-якої фізичної величини, зокрема, температури, значення функції $h(\infty)=1$, а $h(0)=0$. За побудованою графічною залежністю $h(t)$ запізнення τ і постійна часу об'єкта T_0 визначається спрощеним методом шляхом проведення дотичної у точці перегину до цієї кривої.

Визначити для П-регулятора (позиційний режим) коефіцієнт підсилення K_p за рівнянням:

$$K_p = T_0 / (\tau K_0). \quad (9.5)$$

Для ПІ-регулятора коефіцієнт підсилення K_p та час інтегрування T_i встановлюється за такими рівняннями:

$$K_p = 0,8 T_0 / (\tau \cdot K_0); \quad (9.6)$$

$$T_i = T_0 \quad (9.7)$$

Контрольні питання

1. Яку функцію виконує цифровий фільтр у загальній структурі регулятора?
2. Яким чином ПІД-регулятор може бути переведений в режим позиційного регулювання?
3. Які два типи логіки можуть бути реалізовані при позиційному законі регулювання?
4. Поясніть порядок отримання кривої розгону згідно існуючого апаратного оформлення лабораторного стенда.
5. Поясніть процедуру встановлення параметрів настроювання регулятора для реалізації певного закону регулювання.

Лабораторна робота 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПОВІРКА ОЦИФРОВКИ ОРГАНІВ НАСТРОЮВАННЯ АНАЛОГОВОГО РЕГУЛЯТОРА

Мета роботи: ознайомитись з функціональними можливостями аналогового регулюючого блоку, перевірити роботу органів настроювання та визначити динамічні характеристики регулятора при формуванні пропорційного (П), пропорційно-інтегрального (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) законів регулювання.

10.1 Опис лабораторного стенда, структури та функціональних можливостей регулятора

Схема лабораторного стенда (рис. 10.1) містить два задаючих пристрої 1 і 2 типу ЗУ05, що формують відповідно сигнали завдання й змінної, регулятор аналоговий 3 типу Р12, блок керування 4 типу БУ-12, міліамперметри 5 (сигнал завдання), 6 (сигнал змінної) і 7 (вихідний сигнал). Електроживлення блоків вмикають тумблерами Т1, Т2, Т5 і Т6. За допомогою тумблерів Т3 і Т7 здійснюється комутація кіл подачі сигналів від задаючих пристроїв на регулятор, а тумблером Т4 – зміна схеми включення міліамперметра 7 у вихідне коло регулятора 3.

Регулюючий блок Р12 входить до складу комплексу технічних засобів (КТЗ) «Каскад» і є аналоговим ПІД регулятором електричної гілки ДСП із уніфікованими вхідними й вихідними сигналами 0-5 мА. У схемах автоматичних систем регулювання (АСР) блок Р12 застосовують у комплекті з блоком керування БУ-12, пристроєм завдання ЗУ05 і блоком індикації В12. Блок керування БУ-12 забезпечує безударне включення регулятора, а також дистанційне керування процесом. Блок індикації В12 є індикатором сигналу неузгодженості на вході регулятора та контролю вихідного струму.

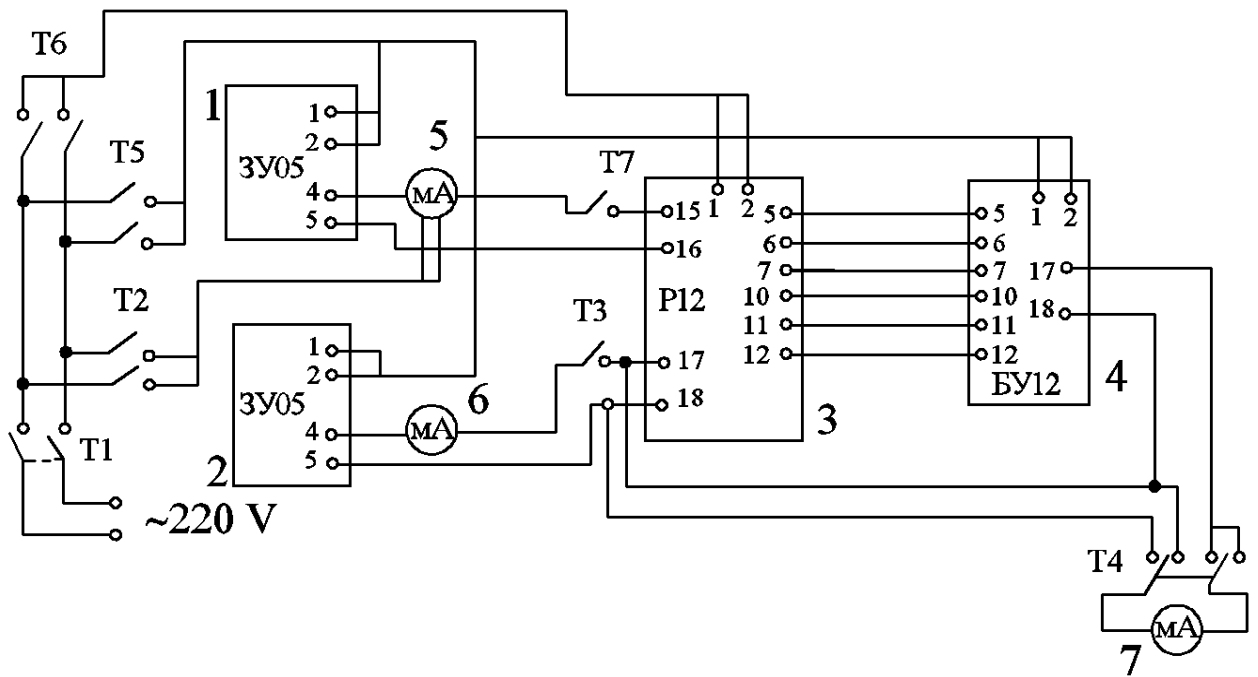


Рис. 10.1. Схема лабораторного стенда

Закон ПІД регулювання в Р12 формується у відповідності з наведеним алгоритмом:

$$K_{\phi} T_{iz} \frac{d\Delta I_{\text{вих}}}{dt} + \Delta I_{\text{вих}} = K_{\Pi} \left[\Delta I_{\text{вх}} + \frac{1}{T_{iz}} \int \Delta I_{\text{вх}} dt + K_{\partial} T_{iz} \frac{d\Delta I_{\text{вх}}}{dt} \right], \quad (10.1)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт відношення постійної часу демпфірування до постійної часу ізодрому ($T_{\partial\phi}/T_{iz}$);

T_{iz} – постійна часу ізодрому;

$\Delta I_{\text{вих}}$ – вихідний сигнал регулятора, що дорівнює різниці значень вихідного поточного струму $I_{\text{вих}}$ і струму $I_{\text{вих}}^0$ в момент рівноваги регулятора за відсутності вхідного сигналу;

K_n – коефіцієнт передачі регулятора;

$I_{\text{вх}}$ – вхідний сигнал регулятора, що дорівнює різниці значень струмів змінної регульованої величини I_{zm} і задатчика I_{zd} ;

K_{∂} – коефіцієнт відношення постійної часу диференціювання до постійної часу ізодрому ($K_{\partial} = T_{\partial} / T_{iz}$).

Принципова електрична схема Р12 представлена на рисунку 10.2. Основні незалежні параметри настроювання регулятора:

- перемикач «Множник», що забезпечує десятикратну зміну діапазону дії органу настроювання коефіцієнта пропорційності;
- ручка потенціометра « K_{II} », що змінює коефіцієнт передачі блоку;
- ручка перемикача « II », що забезпечує вибір законів II , III або PII Д;
- ручка « T_{δ} / T_{i3} » потенціометра, що змінює коефіцієнт K_{δ} ;
- ручка « $T_{\delta\phi} / T_{i3}$ » потенціометра, що змінює коефіцієнт K_{ϕ} ;
- ручка «Обмеж. макс.» потенціометра, що встановлює рівень обмеження вихідного сигналу за максимумом;
- ручка «Обмеж. мін.» потенціометра, що встановлює рівень обмеження вихідного сигналу за мінімумом.

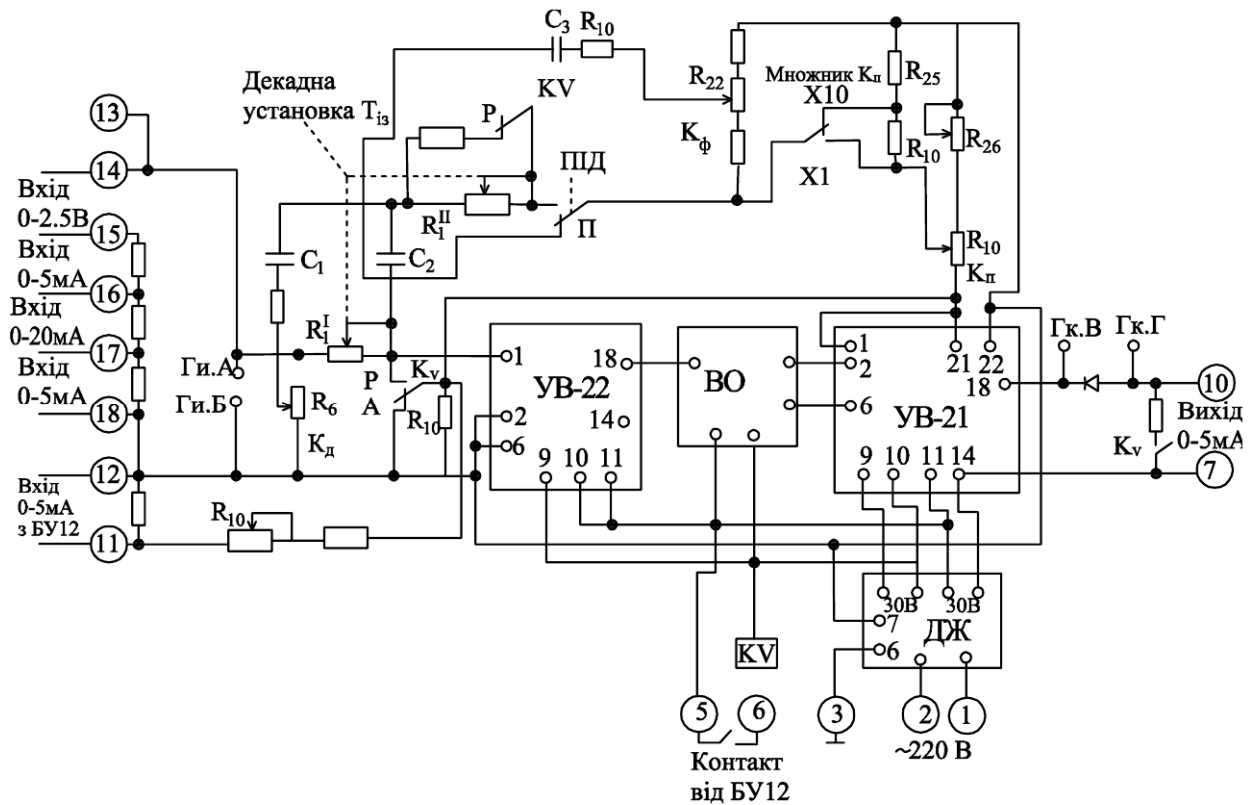


Рис. 10.2. Принципова електрична схема блоку регулювання Р12

Гнізда А і Б слугують для контролю сигналу неузгодженості на вході блоку, а В і Г – для контролю вихідного сигналу блоку. Як виходить зі схеми, функціонально в регуляторі можна виділити вимірювальний ланцюг на вході, прямий канал, що складається з операційного підсилювача УВ-22, вузла обмеження (ВО) і нормуючого підсилювача УВ-21, реле КУ і джерела живлення

(ДЖ).

10.2 Порядок виконання роботи

10.2.1 Перевірка оцифровки органу настроювання « K_{Π} »

Ознайомитися зі схемою лабораторного стенда й підготувати табл. 10.1 для запису результатів вимірів. Включити живлення стенда, установивши тумблер Т1 у положення «Вкл.».

Тумблером Т2 подати живлення на міліамперметр 5, а тумблерами Т5 і Т6 – електроживлення до пристроїв, що задають, 1 і 2, а також до регулятора 3. Тумблером Т7 відключити пристрій, що задає, 1 від вхідного ланцюга регулятора 3, а тумблером Т3 з'єднати пристрій, що задає, 2 з Р12. При цьому тумблер Т4 встановити в положення «Перевірка K_{Π} і T_{i3} ». Висунути блок органів настроювання регулятора 3 з коробки натисканням на кнопку фіксації й вивчити маркування перемикачів і потенціометрів. Перемикач «Множник K_{Π} » встановити в положення «х1», а ручку K_{Π} – у положення першої відмітки, що перевіряється, зазначеної в табл. 10.1. Перемикач блоку 4 перевести в положення «А», ручку «Ручне керування» – у положення «0», а ручки інших органів настроювання регулятора 3 – у крайнє ліве положення. За допомогою задатчика 2 змінити вхідний сигнал так, щоб струм $I_{вх1}$ по міліамперметру 7 встановився на значенні 1 мА. Потім датчиком 2 встановити $\Delta I_{вх2} = 2$ мА, фіксуючи по міліамперметру 6 значення вхідного сигналу $\Delta I_{вх}$, що знадобилося для цієї зміни. Повторити експерименти для інших положень « K_{Π} », наведених у табл. 10.1. Результати експериментів занести до табл. 10.1.

Таблиця 10.1. Результати випробувань

Значення K_{Π} по шкалі регулятора	Величина сигналу, мА		Дійсне значення « K_{Π} »	Відносна похибка « K_{Π} », %
	вхідного $\Delta I_{вх} = I_{вх2} - I_{вх1}$	вихідного $\Delta I_{вх} = I_{вх2} - I_{вх1}$		
0,5		1		
0,6		1		
0,8		1		
1,0		1		
1,5		1		
2,0		1		

10.2.2 Перевірка оцифровки органу настроювання « K_{iz} »

Підготувати таблицю 10.2 для запису результатів вимірів. Встановити тумблери в положення, зазначені в пункті 10.2.1, ручку K_{II} – у положення «1», а перемикач блоку керування 4 – у положення «Р». За допомогою задатчика 2 встановити по міліамперметру 6 струм $I_{ex} = 2$ мА, а потім з БУ-12 регулятор перемкнути в режим «А», що буде рівнозначно ступінчастій зміні входу на 2 мА. Вихідний струм $I_{вих}$ при цьому ступінчато зміниться з 0 до 2 мА. Потім включити секундомір і зафіксувати час досягнення струму $I_{вих}$ регулятора по приладу 7 значення 4 мА. Повторити експерименти тричі і визначити середнє (дійсне) значення T_{iz} для інших значень шкали « T_{iz} » регулятора, отримані результати занести до табл. 1.2. Побудувати графік динамічної характеристики регулятора $I_{вих} = f(t)$ для однієї з позначок шкали « T_{iz} ».

Таблиця 10.2. Результати випробувань

Значення « T_{iz} » по шкалі регулятора	Величина вхідного сигналу ΔI_{ex} , мА	Інтервал часу t , що відповідає зміні вихідного сигналу з 2 до 4 мА, сек			Дійсна (середня) постійна часу ізодрому « T_{iz} », сек	Відносна похибка « T_{iz} », %
		t_1	t_2	t_3		
5	2					
8	2					
12	2					
19	2					

10.2.3 Перевірка оцифровки органу настроювання « K_{ϕ} »

Орган настроювання K_{ϕ} перевірити за єдиним можливим для зазначеного регулятора способом – за допомогою замкнутої схеми. Для цього тумблер Т4 встановити в положення «Перевірка T_{ϕ} ».

Підготувати таблицю 10.3 для запису результатів експерименту. Включити електроживлення стенда, блоку керування, пристроїв завдання, міліамперметра і регулятора відповідно тумблерами Т1, Т5, Т2 і Т6, а тумблером Т3 відключити пристрій завдання 2 від регулятора 3. Тумблером Т7 з'єднати пристрій завдання 1 із входом регулятора 3. Блок керування перевести

в режим «Р». На Р12 при $K_{\Pi}=1$ і $K_{\phi}=0$ виставити « T_{i3} » на певну оцифровану позначку шкали, а $K_{\delta} = T_{\delta} / T_{i3}$ на максимальне значення.

Встановити $I_{\text{вх}}$ і $I_{\text{вих}}$ рівними 1 мА. Через 5-10 сек БУ-12 перевести в режим «А». Змінити $I_{\text{вх}}$ з 1 до 3 мА та включити секундомір. Вихідний струм $I_{\text{вих}}$ стрибкоподібно збільшиться до значення $I_{\text{вх}}$, а потім почне поступово зменшуватися. Продовжуючи спостерігати за $I_{\text{вих}}$ виключити секундомір у момент початку збільшення $I_{\text{вих}}$, тобто в момент досягнення $I_{\text{вих}}^{\min}$.

Зафіксувати значення Δt_{\min} за секундоміром. Отримані результати занести в табл. 10.3. Повторити експерименти для інших позначок « K_{δ} ». Побудувати графік динамічної характеристики регулятора для однієї з оцінок шкали « K_{δ} ».

Таблиця 10.3. Результати випробувань

Значення « K_{δ} » по шкалі регуля- тора	Величина вхідного сигналу, $\Delta I_{\text{вх}}$, мА	Величина мінімального значення вихідного сигналу $I_{\text{вих}}^{\min}$, мА	Інтервал часу Δt_{\min} досягнення $I_{\text{вих}}^{\min}$, сек	Відно- шення $\frac{\Delta t_{\min}}{T_{i3}}$	Дійсне значення « K_{δ} »	Відносна похибка « K_{δ} », %
0,1						
0,2						
0,3						
0,4						

10.2.4 Перевірка оцифровки органів настроювання « K_{ϕ} »

Встановити тумблери в положення, зазначені в пункті 10.2.3. Підготувати таблицю 10.4 для запису результатів вимірів. Перевести блок керування в режим «Р». На регуляторі при $K_{\Pi} = 1$ встановити $T_{i3} = T_{i3}^{\max}$, $K_{\delta} = 0$, а K_{ϕ} – на максимальну позначку шкали. Встановити $I_{\text{вх}} = I_{\text{вих}} = 1$ мА й через 5-10 сек перемкнути БУ-12 у режим «А».

Таблиця 10.4. Результати випробувань

Значення « K_ϕ » по шкалі регулятора	Величина струму, мА		Час Δt , досягнення вихідним сигналом значення $0,315\Delta I_{\text{вх}}$, сек	Дійсне значення « K_ϕ »	Відносна похибка « K_ϕ », %
	$\Delta I_{\text{вх}}$	$\Delta I_{\text{вих}} = 0,315\Delta I_{\text{вх}}$			
0,02					
0,04					
0,06					
0,08					
0,1					

Змінити миттєво $I_{\text{вх}}$ з 1 мА до 3 мА та включити секундомір. Вихідний струм почне поступово збільшуватися. При цьому, коли $\Delta I_{\text{вих}}$ досягне значення $0,315\Delta I_{\text{вх}}$, виключити секундомір. Результати вимірів занести в табл. 10.4. Повторити експерименти для інших значень шкали K_ϕ . Для однієї з оцінок побудуйте графік динамічної характеристики регулятора.

Після виконання пунктів 10.2.1–10.2.4 приступити до обробки результатів вимірів і скласти звіт про роботу.

10.3 Обробка результатів випробувань

Для визначення дійсних значень коефіцієнтів K_Π і K_ϕ застосувати зазначені залежності:

$$K_\Pi = \Delta I_{\text{вих}} / \Delta I_{\text{вх}}; \quad K_\phi = 2\Delta t / T_{\text{из max}}. \quad (10.2)$$

При визначенні K_ϕ використовується графічна залежність, що наведена на рис. 10.3.

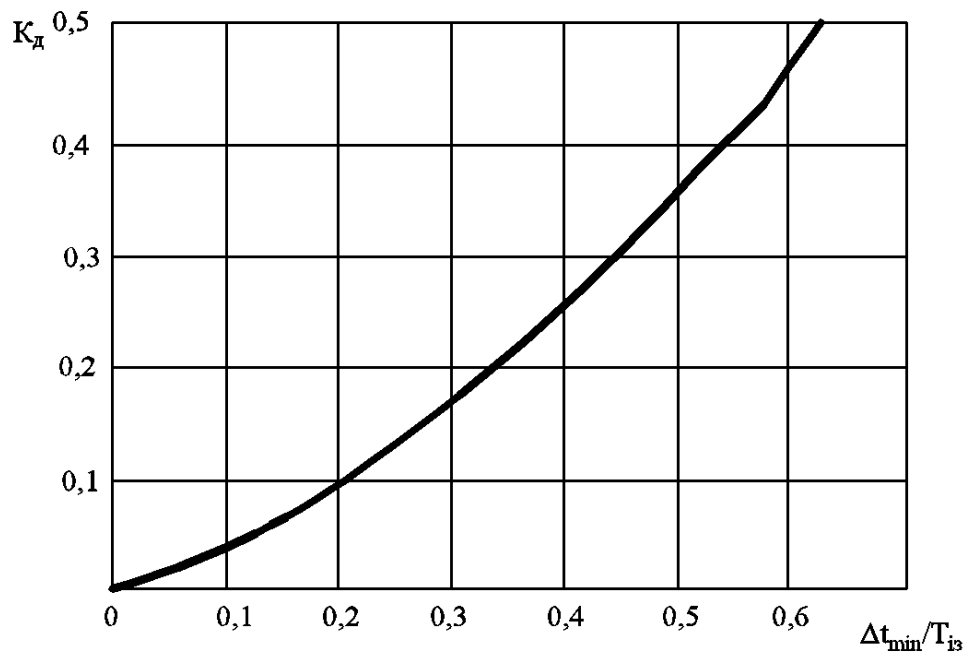


Рис 10.3. Графічна залежність для визначення коефіцієнта « K_d »

Дійсні значення основних параметрів, що забезпечують настроювання характеристик закону регулювання, не повинні відрізнятись від значень, заданих на позначках шкал, більше, ніж на 40 %.

Контрольні питання

1. Призначення, характеристика та функціональні можливості регулюючого блоку Р12.
2. Перелічити основні органи настроювання регулятора Р12 відповідно до принципової схеми регулятора.
3. Яка послідовність перевірки оцифровки органів настроювання K_{II} , T_{iz} , K_d і K_{ϕ} ?
4. Побудувати функціональну схему регулювання окремого технологічного параметру із застосуванням блоку Р12.
5. Яким діапазоном зміни характеризуються уніфіковані струмові сигнали?

Лабораторна робота 11

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИКОНАВЧОГО ПРИСТРОЮ З МЕМБРАННИМ ПРИВОДОМ

Мета роботи: ознайомитися з конструкцією і роботою пневматичного виконавчого пристрою, засвоїти методику визначення основних характеристик виконавчого механізму та регулюючого органу, побудувати робочу характеристику мембранного виконавчого механізму, витратну та пропускну характеристики регулюючого органу.

11.1 Опис лабораторного стенда та конструктивного оформлення виконавчого пристрою

Схема установки для дослідження характеристик мембранного регулюючого клапану, наведена на рис. 11.1, складається з пневматичного виконавчого пристрою 1, встановленого на водяному трубопроводі 2, мірного бака 3, редуктора тиску стислого повітря 4, манометра 5, манометрів 6 і 7 для визначення перепаду тиску на регулюючому органі і запірному крані 8. Шкала індикатора переміщення штоку клапана проградуєрована у відсотках від повної ходи штоку, що складає 13 мм.

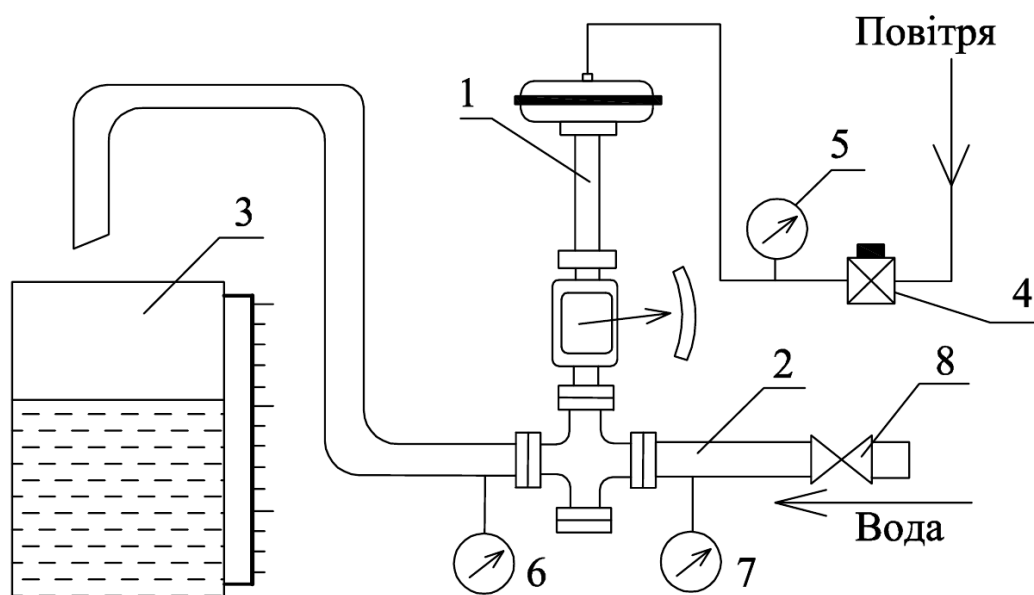


Рис. 11.1. Схема лабораторного стенда

Виконавчий пристрій з мембранним приводом призначений для зміни витрати потоків рідини, пари і газу. Один з варіантів загального конструктивного оформлення виконавчого пристрою наведено на рис. 11.2 і складається з двох частин: регулюючого органу в нижній частині та виконавчого механізму в верхній частині.

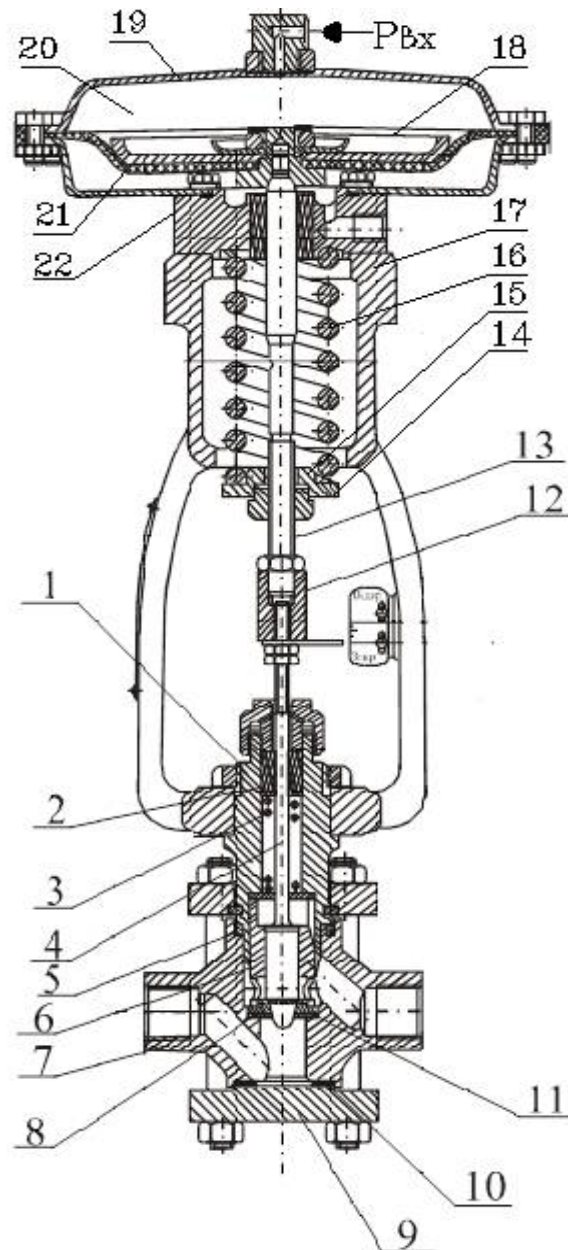


Рис. 11.2. Конструктивне оформлення виконавчого пристрою з мембранним приводом

Регулюючий орган містить такі основні елементи: корпус 7 для муфтового з'єднання з трубопроводом; обойму 1, у якій встановлюється втулка 6 з

умонтованим у ній сідлом 8 і затвором 4; кришки 9. Ущільнення обойми з корпусом здійснюється за допомогою спіральної навитої прокладки 5, а сідла і кришки – за допомогою паронітових прокладок 10 і 11. Переміщення затвору здійснюється виконавчим механізмом, шток 13 якого жорстко зв'язаний зі штоком затвору 4 з'єднувальною гайкою 12. Основними елементами мембранного виконавчого механізму (МВМ) прямої дії (ППХ) є мембранна камера, кронштейн з пружиною і рухлива частина. Мембранна камера утворена кришками 19 і 21, між якими затиснута мембрана 20. Кришка 21 прикріплена до кронштейну 17. Верхня кришка і мембрана утворюють робочу порожнину, до якої крізь штуцер надходить пневматична керуюча дія $P_{\text{вх}}$ з регулюючого пристрою. Рухлива частина складається з опорного диску 18, до якого прикріплена мембрана 20 і шток 13 із з'єднувальною гайкою 12. Пружина 16 одним торцем через опорне кільце 15 спирається в регулювальну втулку 14, яка слугує для зміни початкового натягування пружини і напрямку руху штоку. Іншим торцем пружина 16 спирається в опорну втулку 22 з ущільненням для штоку.

11.2 Порядок виконання роботи

11.2.1 Визначення робочої характеристики виконавчого механізму

Підготувати табл. 11.1 для запису результатів досліджень. Подати стисле повітря до мембранного приводу і змінюючи тиск за допомогою редуктора 4 по манометру 5 здійснювати контроль переміщення штоку (% , мм) при прямому $S_{\text{пр}}$ і зворотному $S_{\text{зв}}$ ході штоку. Результати занести до табл. 11.1.

Таблиця 11.1. Результати досліджень щодо визначення робочої характеристики виконавчого механізму

Тиск $P_{\text{вх}}$ повітря над мембраною, МПа	Переміщення штоку				Величина гістерезису ($S_{np} - S_{\text{зв}}$), мм
	прямий хід S_{np}		зворотній хід $S_{\text{зв}}$		
	%	мм	%	мм	
0,02					

0,04					
0,06					
0,08					
0,1					

11.2.2 Визначення витратної та пропускної характеристик регулюючого органу

Підготувати табл. 11.2 для запису результатів досліджень.

Таблиця 11.2. Результати досліджень щодо визначення витратної та пропускної характеристик регулюючого органу

Тиск повітря P_{ex} над мембраною	Перепад тиску на регулюючому органі $(P_1 - P_2)$, МПа	Ход штоку S_{np} , мм	Час заповнення мірного баку t , сек	Об'єм води V , м^3	Витрата води, V , $\text{м}^3/\text{год}$	Пропускна здатність регулюючого органу K_V , $\text{м}^3/\text{год}$
0,02				0,002		
0,04						
0,06						
0,08						
0,1						

Відкрити кран 8 на трубопроводі 2, що забезпечить подачу води крізь регулюючий орган. Змінюючи тиск повітря над мембраною згідно табл. 11.2 здійснювати контроль ходу клапану та фіксувати час заповнення мірного баку 3 двома літрами води. Одночасно на кожній позначці тиску повітря контролювати тиск води до (P_1) та після (P_2) регулюючого органу відповідно по манометрам 6 і 7. Отримані дані на кожній позначці тиску повітря заносити до табл. 11.2.

11.3 Обробка результатів досліджень

За результатами даних табл. 11.1 побудувати графік функції $S = f(P_{\text{ex}})$.

Визначення витрати води крізь регулюючий орган V здійснюється за формулою:

$$V = v / t \quad (11.1)$$

За результатами розрахунків V згідно стовпця 6 табл. 11.2. побудувати графічну залежність $V = f(S_{np})$.

Розрахунок пропускної здатності K_V ($m^3/год$) виконується за рівнянням:

$$K_V = 36 \cdot 10^3 \cdot V \sqrt{\frac{\rho}{P_1 - P_2}}, \quad (11.2)$$

де ρ – густина води ($\rho = 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$);

$(P_1 - P_2)$ – перепад тиску на регулюючому органі, H/m^2 ;

V – об’ємна витрата води, $m^3/\text{сек}$.

За результатами розрахунків K_V згідно стовпця 7 табл. 11.2 побудувати графічну залежність $K_V = f(S_{np})$. Встановити форму для витратної і пропускної характеристик регулюючого органу.

Контрольні питання

1. Призначення, особливості та основні складові виконавчого пристрою.
2. Основні характеристики виконавчого пристрою з мембранним приводом.
3. Призначення позиціонерів при роботі у складі мембранних виконавчих пристроїв.
4. Дати визначення поняття пропускної здатності та пояснити необхідність її введення.

Лабораторна робота 12
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ
РЕГУЛЮВАННЯ З ЗАСТОСУВАННЯМ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО
РЕГУЛЯТОРА

Мета роботи: ознайомитись з функціональними можливостями мікропроцесорного регулятора РТЕ-4М, отримати практичні навички оперативного управління автоматичною системою регулювання (АСР) та оцінити якість перехідних процесів за різних алгоритмів регулювання.

12.1 Опис лабораторного стенда, структури та функціональних можливостей регулятора

Схема лабораторного стенда наведена на рис. 12.1. Живлення стенда здійснюється шляхом умикання тумблера Т1.

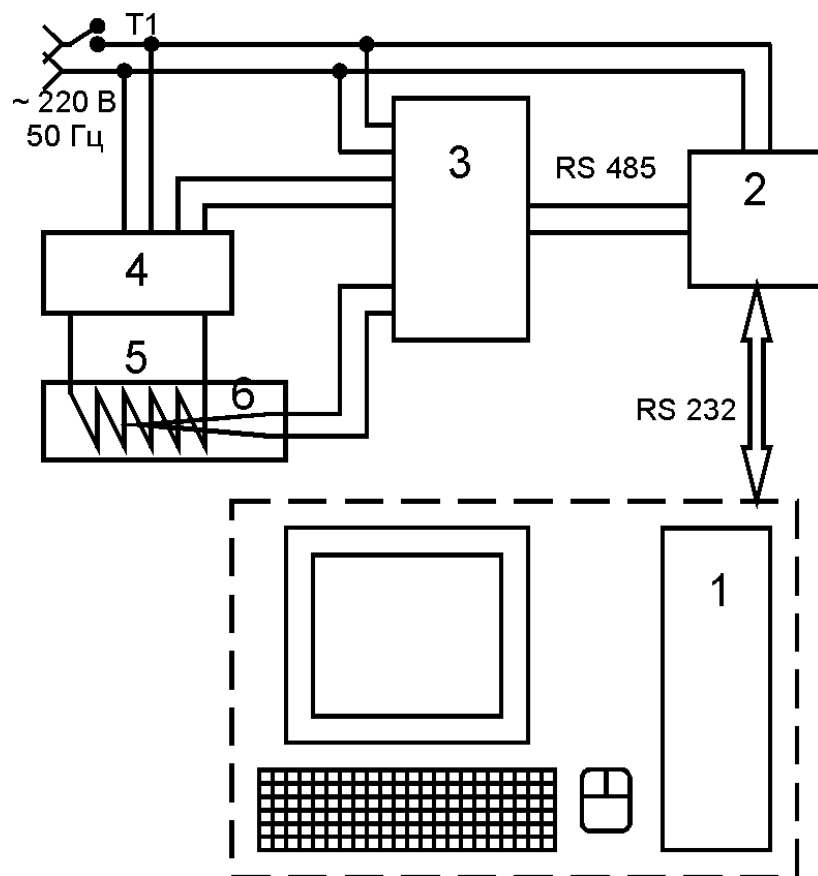


Рис. 12.1. Схема лабораторного стенда

Вимірювання температури в печі 5 забезпечується термоелектричним перетворювачем 6 типу ТХА, що підключається до першого каналу регулятора 3 типу РТЕ-4.4М. До восьмого каналу (на схемі не показано) може бути підключена імітаційна модель об'єкта, що забезпечує прискорене дослідження впливу алгоритмів регулювання на якість перехідних процесів. Для підсилення керуючого сигналу регулятора використовується симістор 4 (ТСО16-4), за допомогою якого здійснюється підключення живлення напругою 220 В до нагрівача печі 5.

Людино-машинний інтерфейс регулятора реалізований двома варіантами. У випадку використання регулятора без ПЕОМ, керування здійснюється кнопками на лицьовій панелі з відображенням параметрів на цифровому індикаторі. При використанні ПЕОМ із спеціальним програмним забезпеченням користувачу доступний людино-комп'ютерний інтерфейс, описаний нижче. Також, регулятори можуть бути включені до систем керування виробництвом з відповідним програмним забезпеченням і складним людино-машинним інтерфейсом.

Окрім цього стан кожного каналу відображено рядом світлодіодних індикаторів. Середній ряд показує канал, значення параметру якого відображено на цифровому індикаторі. Верхній і нижній ряди показують стан вихідних сигналів – «більше» або «менше» заданого.

Оперативне керування регулятором (вибір алгоритму регулювання, значень параметрів настроювання) виконується з клавіатури персонального комп'ютера 1 (ПЕОМ) зі спеціалізованим (нестандартним) програмним забезпеченням. Програма являє собою вікно з уніфікованим інтерфейсом користувача, строка Меню якого містить декілька пунктів, а саме:

- пункт «Файл» містить підпункти «Новое окно регулятора» для відкриття нового вікна з графіками зміни параметра регулювання у багатоканальній системі та «Сохранить протокол в файл» для збереження протоколу з результатами вимірювань у часі у вигляді незалежного файлу;

- пункт «Управление регуляторами» містить підпункт «Настройка текущего регулятора» для відкриття вікна, в якому відображені та можуть бути змінені параметри настроювання алгоритмів регулювання;

- підпункти «Старт текущий» і «Стоп текущий» для пуску і зупинки роботи регулятора, а підпункт «Сканировать температуру» має бути увімкненим для постійного відображення вимірюваних параметрів у часі;
- пункт «Настройка» містить підпункт «Период сканирования», що забезпечує вибір частоти сканування вимірюваних параметрів для подальшого їх відображення та запису у протокол (для лабораторної роботи достатній період сканування знаходиться в межах 250÷1000 мсек);
- пункт «Настройка порта» допомагає обрати режим роботи послідовного порта;
- пункт «Открыть порт» або «Закрыть окно» обираються відповідно чи після налаштування інтерфейсу для початку обміну інформацією між ПЕОМ і регулятором чи для закінчення процесу обміну;
- пункт «Окна» допомагає впорядкувати розміщення кількох вікон каналів регулятора на екрані монітора.

Регулятори серії РТЕ-4.4М дозволяють реалізувати ПІД алгоритм і виготовляються у двох модифікаціях: для вхідних сигналів від термопар і для вхідних уніфікованих сигналів 0÷5 мА, що надходять від будь-яких датчиків.

Для паралельної структури регулятора передатна функція має вигляд:

$$Y(t) = K_p \times E(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t E(t) dt + T_d \frac{dE(t)}{dt}, \quad (12.1)$$

де K_p – коефіцієнт пропорційності регулятора (параметр Р1 K_p);

T_i – час інтегрування регулятора (параметр Р2 T_i);

T_d – час диференціювання регулятора (параметр Р3 T_d).

Формула (12.1) відповідає передатній функції аналогового ПІД-регулятора. У регуляторах РТЕ використовуються наближені формули розрахунку передатних функцій у зв'язку з тим, що вони є цифровим пристроєм. Відповідно, розрахунок інтегральної і диференціальної складових виконується числовими методами (з високою точністю) з поправкою на

дискретизацію в часі значення розузгодження. Таким чином, передатна функція ПД-регулятора (x_i) для паралельної структури має вигляд:

$$Y_i = K_p \times E_i + \frac{I}{T_i} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t + T_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t}, \quad (12.2)$$

де E_i – різниця між завданням регулятора і поточним значенням контролюваної величини;

ΔE_i – різниця між двома сусідніми значеннями E_i і E_{i-1} ;

Δt – час між двома сусідніми вимірюваннями t_i і t_{i-1} ;

$\sum_{i=0}^n E_i$ – накопичена інтегральна сума розузгоджень.

Керування регулятором може здійснюватись також локально за допомогою клавіатури на його лицьовій панелі або через інтерфейс RS-485 від ПЕОМ, як це передбачено в лабораторній роботі. При цьому програмування регулятора з лицьової панелі (рис. 12.2) параметрів настроювання здійснюється в наведеній послідовності. При вимкненому режимі регулювання, коли відсутнє автоматичне сканування каналів на середньому рядку світло діодів виконати такі дії:

- натисканням кнопок « Δ », « ∇ » встановити на цифровому індикаторі символ «P»;
- утримуючи кнопку « $\frac{\Delta}{\nabla}$ », діждатись появи на цифровому індикаторі символу «P10» та відпустити кнопку;
- натисканням кнопки « ∇ » вибрати один з каналів регулювання з його параметрами (див. таблицю 12.1);
- натискання кнопки « Δ » дозволяє вивести на цифровий індикатор поточне значення параметру;
- для зміни параметрів необхідно з одночасним утриманням кнопки « $\frac{\Delta}{\nabla}$ », натискати кнопки « Δ », « ∇ »;
- вихід з режиму програмування відбудеться, якщо утримувати кнопку « $\frac{\Delta}{\nabla}$ » протягом 10-15 сек.

Увага! Значення P0 містять налаштування для всіх каналів і у лабораторній роботі змінювати не потрібно.

Таблиця 12.1. Відповідність параметрів позначенням на індикаторі

Позначення на цифровому індикаторі	Параметр налаштування
P11	Уставка параметра (завдання)
P12	Коефіцієнт пропорційності K_n
P12	Постійна часу інтегрування T_i
P13	Постійна часу диференціювання T_d
P14	Завдання параметра для компаратора
P15	Зона повернення (гістерезис)

Основним елементом узагальненої структури регулятора РТЕ (рис. 12.3) є мікроконтролер серії Mikrochip. Аналогові сигнали до мікроконтролера надходять крізь мультиплексор, що дозволяє забезпечити послідовну комутацію вхідних сигналів на один вихід. Отриманий таким чином сигнал далі підсилюється та нормалізується, після чого надходить до мікроконтролера. Обробка вхідних сигналів відбувається за алгоритмом, що закладений у постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП). Алгоритм та параметри налаштування, що записані в оперативному запам'ятовуючому пристрої (ОЗП), можуть змінюватись за допомогою клавіатури ПЕОМ через інтерфейс RS-485 чи кнопок лицьової панелі регулятора.

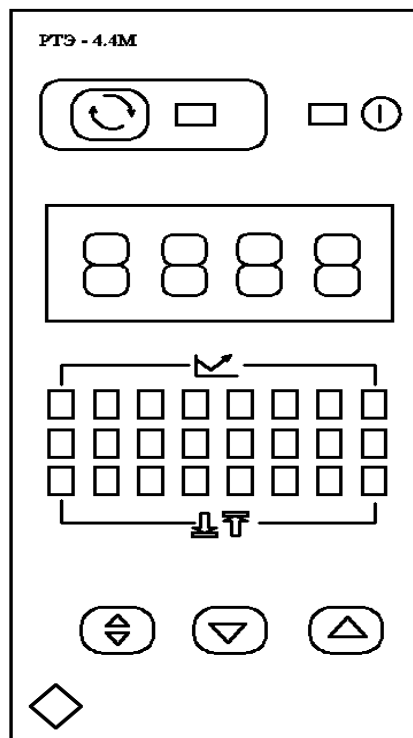


Рис. 12.2. Лицьова панель регулятора РТЕ-4.4.М

Отриманий за результатами обробки вхідної інформації керуючий сигнал через інтерфейсні схеми надходить до вихідного пристрою, що виводить сигнали керування на зовнішні пристрої ключового типу (рис. 12.4): симісторний або оптосимісторний підсилювач.

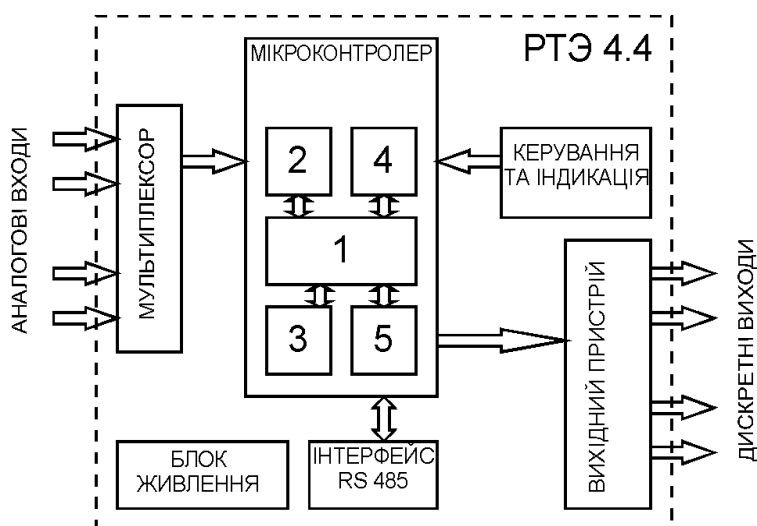


Рис. 12.3. Узагальнена структурна схема регулятора серії РТЕ-4.4: 1 – арифметико-логічний пристрій (АЛП); 2 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 3 – запам'ятовуючі пристрої (ОЗП і ПЗП); 4 – керуючий автомат; 5 – інтерфейсні схеми перетворення

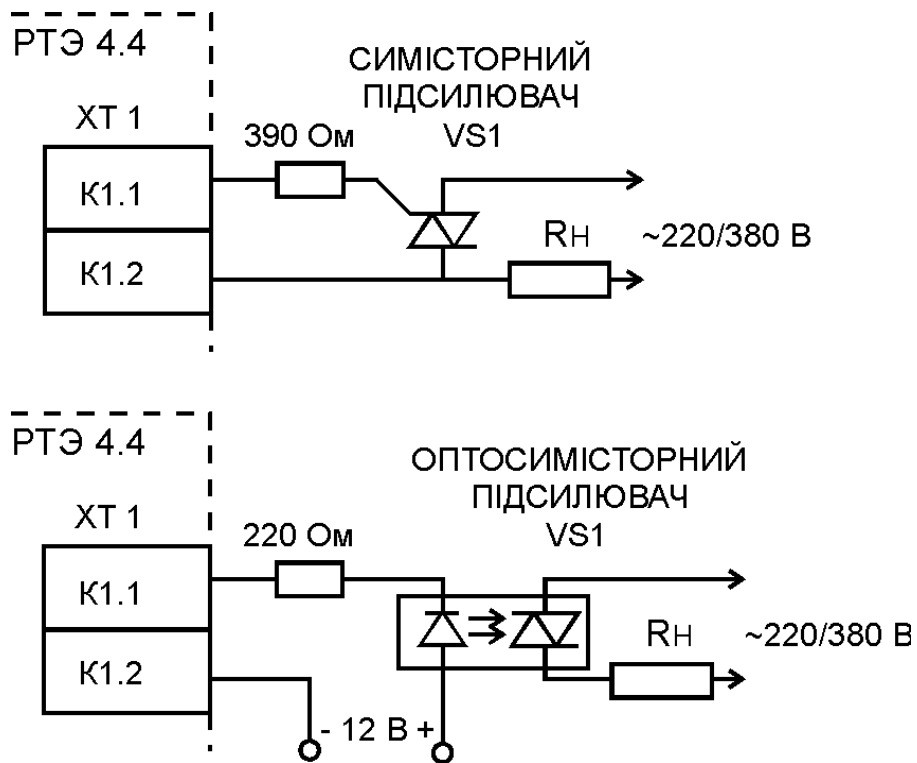


Рис. 12.4. Схема підключення зовнішніх пристроїв ключового типу до регулятора РТЭ-4.4

R_H – зовнішнє навантаження; $VS1$ – симістор чи оптосимістор

12.2 Порядок виконання роботи

Ознайомитись зі схемою лабораторного стенда та послідовно увімкнути живлення стенду тумблером Т1 і ПЕОМ. Після закінчення завантаження системи запустити програму RTE, що знаходиться на робочому столі Windows. Виконати дослідження якості перехідних процесів АСР для різних об'єктів та алгоритмів налаштування регулятора.

12.2.1 Позиційний алгоритм регулятора

Для виконання роботи необхідно дотримуватись такої послідовності дій, користуючись «мишкою»:

а) зайти у вкладку меню «Файл» та вибрати пункт «Новое окно регулятора» і на вимогу програми задати адресу регулятора – 2;

б) зайти у вкладку меню «Порт» та, використовуючи відповідні пункти, налаштувати порт за такими параметрами: *період сканування* 500 мсек, *порт* –

COM2, інші параметри залишити незмінними. Зайти у вкладку меню «Порт» та обрати пункт «Открыть порт». На екрані почнеться процес відображення поточних значень. Виведення графіків відбувається на 9 вкладках. Перша – сумісне відображення даних по всіх каналах, кольори каналів відрізняються. Інші вкладки відповідають окремим каналам з 1 по 8. До першого каналу підключено термопару від інерційного об'єкту, що нагрівають. До восьмого каналу підключено електронний емулятор з малою інерційністю;

в) зайти у вкладку меню «Управление регуляторами» і викликати вікно «Настройка текущего регулятора». На вкладці «Настройка 1-го канала» встановити величину «Уставка температуры 1-го канала» 100°C , а на вкладці «Код конфигурации регулятора» встановити опцію «позиційний режим роботи». Закрити вкладки та записати параметри кнопкою «ОК». Запустити регулятор і отримати кілька відхилень після виходу регулятора на встановлену температуру. За отриманими графіками на екрані оцінити якість регулювання. При роботі з 8 каналом, послідовність дій аналогічна – обирають пункт «Настройка 8-го канала».

12.2.2 ПІД-алгоритм настроювання регулятора

Використовуючи відомості з попереднього розділу, викликати вікно настроювання регулятора і на вкладці «Код конфигурации регулятора» вимкнути опцію «позиційний режим роботи» Послідовність проведення досліджень:

а) на вкладці «Настройка 1-го канала» встановити величину «Уставка температуры 1-го канала» 100°C , а на вкладках параметрів регулювання встановити послідовно значення параметрів настроювання в алгоритмах регулятора з особистих міркувань або заданих викладачем. Спочатку для завдання П, потім для ПІ і наприкінці для ПІД – алгоритму. При цьому кожного разу необхідно натиснути кнопку «ОК». Отримані дані занести до табл. 12.1;

Таблиця 12.1. Результати досліджень

Параметр	№ експерименту (алгоритми)		
	1 (П)	2 (ПІ)	3 (ПІД)
K_P			
T_i			
T_d			
X_d			
t			
X_{CT}			

б) після виходу регулятора на сталий режим знову викликати вікно налаштувань і змінити значення уставки температури до 120°C ;

в) після виходу регулятора на сталий режим виміряти значення статичної похибки X_{CT} , похибки динамічного відхилення X_d , часу регулювання t та занести їх до таблиці 12.1.

Повторити пункти а), б), в) для ПІ і ПІД алгоритмів, змінюючи температуру спочатку на 100°C , а потім до 120°C .

12.3 Обробка результатів досліджень

Обрати масштаб та накреслити графіки на міліметровому папері перехідних процесів, що характеризують якість регулювання за відповідних алгоритмів регулятора: позиційного, пропорційного, пропорційно-інтегрального, пропорційно-інтегрально-диференціального. Після цього на графіках показати параметри якості регулювання.

Контрольні питання

1. Призначення та функціональні можливості мікропроцесорного регулятора РТЕ-4.4М.
2. Що собою являє внутрішня структура мікропроцесорного регулятора РТЕ-4.4М?
3. Поясніть процедуру налаштування регулятора для реалізації певного алгоритму регулювання.
4. Основні показники, що характеризують якість перехідних процесів АСР.
5. Що являє собою вихідний пристрій для виводу керуючих сигналів?

Лабораторна робота 13

ВІДПРАЦЮВАННЯ НАВИЧОК ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ РЕГУЛЮВАННЯ НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА

Мета роботи: ознайомитись з функціональними можливостями контролера Р130 та придбати навички оперативного управління АСР за допомогою клавіш лицьової панелі блока контролера (БК); ознайомитись з алгоритмами, заданими в схемі конфігурації АСР, та основними принципами програмування контролера регулюючої моделі; визначити криву розгону та передатну функцію об'єкту за результатами досліджень і розрахунків.

13.1 Функціональні можливості та основні технічні характеристики контролера

Контролер «Ремиконт Р-130» (далі по тексту – контролер) відноситься до електричної галузі системи приладів. Цей пристрій дозволяє вирішувати завдання автоматичного контролю та регулювання технологічних процесів у різних галузях промисловості, в тому числі хімічної, харчової, скляної, металургійної й ін. Зазначені завдання вирішуються як в автономному режимі, так і у складі автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП).

Контролер має три види моделей для розв'язання різних завдань: регулюючу, логічну і безперервно-дискретну. Однак, незважаючи на такий розподіл по видах, кожна з моделей має у своїй бібліотеці алгоритми, що дозволяють реалізовувати конфігурації, властиві двом іншим.

Завдяки невеликій кількості контурів регулювання (не більш 4-х), кожен окремо взятий контролер здатний цілком автоматизувати роботу одного невеликого агрегату або апарата. У той же час, для більш великих об'єктів, використання декількох пристроїв зазначеного типу дозволяє підвищити так звану «живучість» системи керування. Функціональні параметри регулюючої моделі зведені до табл. 13.1.

13.2 Перелік алгоритмів та їхні реквізити

Для виконання процедур технологічного програмування в цій роботі використовуються такі алгоритми, що входять у бібліотеку контролера:

ОКО – оперативний контроль регулювання (алгоритм лицьової панелі);

ВАА – введення аналогової групи А (алгоритм уведення-виведення);

ЗДН – завдання ручне (алгоритм регулювання);

РАН – регулювання аналогове (алгоритм регулювання);

РУЧ – ручне керування (алгоритм регулювання);

АВА – аналоговий вивід групи А (алгоритм уведення-виведення).

У загальному випадку кожен бібліотечний алгоритм має три реквізити: бібліотечний номер; модифікатор; масштаб часу.

Бібліотечний номер (XX) – основний параметр, що характеризує властивості алгоритму. Він виражається двозначним десятковим числом.

Модифікатор (m) задає кількість однотипних операцій, здатних у кожному конкретному випадку виконати наведений алгоритм. Наприклад, модифікатор суматора визначає граничну кількість входів, що сумуються.

Масштаб часу (МЧ) є присутнім тільки в тих алгоритмах, що працюють з реальним часом. Це алгоритми регулювання, програмні задатчики, таймери й ін. Якщо контролер у цілому має менший діапазон часу (**00**), то масштаб часу може бути встановлений у «секундах» (**00**) або «хвилинах» (**01**). При більшому діапазоні (**01**) масштаб часу задають у «хвилинах» (**00**) або «годинах» (**01**).

Таблиця 13.1. Функціональні параметри регулюючої моделі

Кількість алгоблоків	99
Кількість алгоритмів у бібліотеці	76
Час циклу, сек	0,2-2,0
Похибка цифрової обробки інформації, %:	
підсумовування, вирахування	0
множення, ділення	0,01
визначення квадратного кореня	0,1
Обсяг пам'яті, кбайт:	
ПЗУ	32
ОЗУ	8
ППЗУ	8
Кількість незалежних контурів керування	4
Вид регулятора в кожному контурі	аналоговий, імпульсний

Режим роботи кожного контуру	локальний, каскадний, дистанційний, ручний
Вид завдання в кожному контурі	ручний, програмний, зовнішній (супервізорний)
Закон регулювання в кожному контурі	ПД, ПІ, ПД, П
Контрольовані параметри	завдання, вхід, розузгодження, вихід, значення довільного параметра, параметри програми, помилки контуру
Параметри ручного задатчика: спосіб установки дискретність установки, % час зміни на 100 %, сек. вид балансування	менше, більше 0,025 22 динамічна, статична
Керування виходом: спосіб керування в ручному режимі час зміни аналогового сигналу в ручному режимі, сек можливість контролю, що дозволяє визначення положення виконавчого механізму, % - по цифровому індикаторі - по шкальному індикаторі	менше, більше 22 0,025 5

Конфігурація системи, а також реквізити алгоблоків, використовувані в дійсній лабораторній роботі, приведені на рис. 13.1 і в таблиці 13.2.

Таблиця 13.2. Реквізити алгоритмів

Найменування алгоритму	Позначення в бібліотеці	Код	Модифікатор, m	Масштаб часу, МЧ
Оперативний контроль регулювання	ОКО	01	00	Відсутній (–)
Введення аналогове групи А	ВАА	07	01	Відсутній (–)
Завдання (ручне)	ЗДН	24	00	00
Регулювання аналогове	РАН	20	Відсутній (–)	00
Ручне керування	РУЧ	26	Відсутній (–)	Відсутній (–)
Аналоговий вивід групи А	АВА	11	02	Відсутній (–)

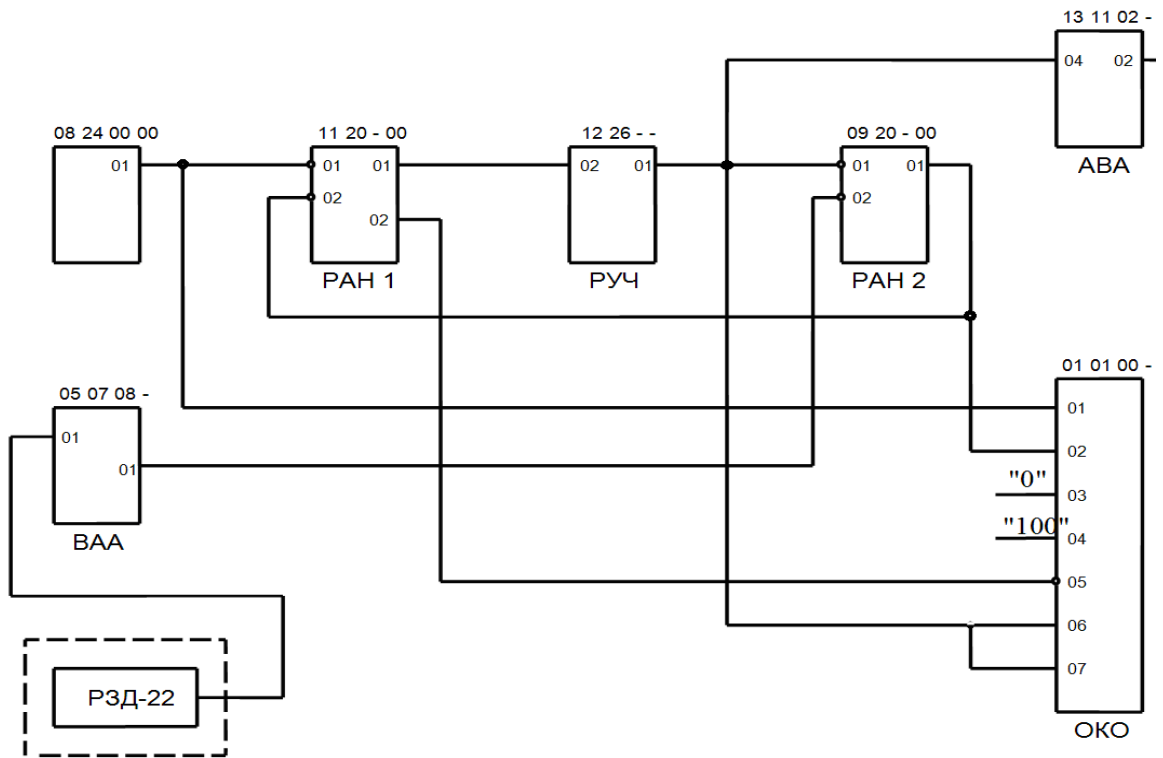


Рис. 13.1. Функціональна схема конфігурації АСР

13.3 Програмування контролера

Усього в контролері передбачено вісім процедур програмування:

- а) тестування («тест»);
- б) приладові параметри («приб»);
- в) системні параметри («сист»);
- г) алгоритмічна структура («алг»);
- д) конфігурування («конф»);
- е) настроювані параметри («настр»);
- ж) початкові умови («нач.усл.»);
- з) запис у ППЗУ («ппзу»).

Програмування контролера здійснюється після проходження тестової перевірки та процедури установки приладних і системних параметрів, які виконуються за допомогою пульта настроювання ПН-1 після підключення його до зовнішнього роз'єму лицьової панелі в нижній частині БК. Зовнішній вигляд лицьової панелі ПН-1 наведено на рис. 13.2.

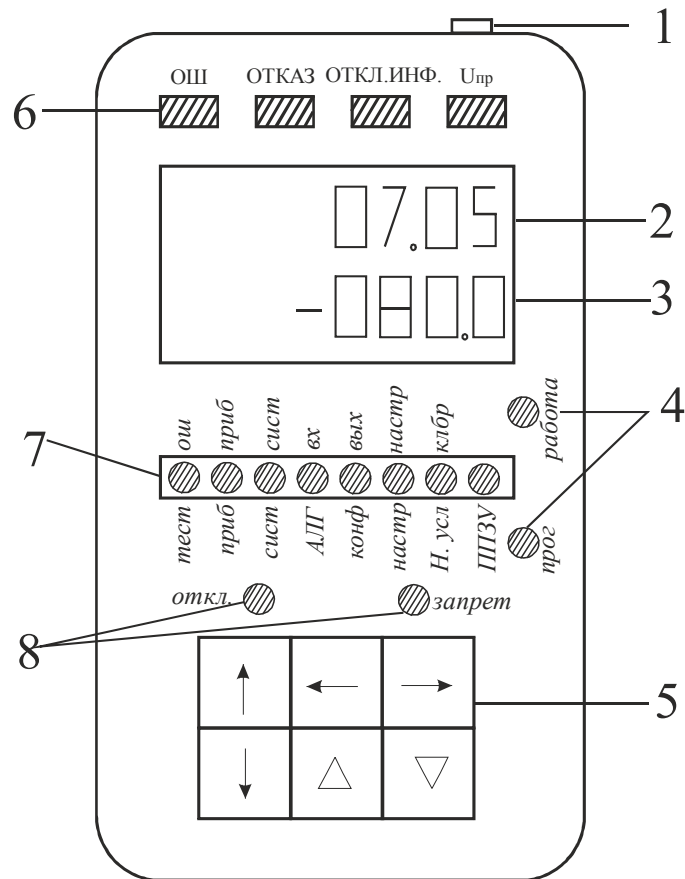






Рис. 13.2. Лицьова панель ПН-1: 1 – роз’єм для зовнішньої напруги при записуванні в ППЗУ; 2 – верхній цифровий індикатор (ЦІ); 3 – нижній ЦІ; 4 – режим ПН-1; 5 – клавіатура; 6 – помилки; 7 – процедури; 8 – стан ПН-1.

Після цього здійснюється така послідовність дій:










- Перемикач на зворотній стороні пульта знаходиться в положенні «**ВКЛ**».
- Працюємо з клавіатурою пульта настроювання.
- Горить ЛІ миготливим світлом «**робота**».
- Переводимо контролер у режим програмування, для чого послідовно натискаємо й утримуємо клавіші $\downarrow + \rightarrow$ до моменту висвітлювання ЛІ «**прог**».
- Натисканням клавіші \rightarrow домагаємося висвітлення ЛІ «**алг**».
- Натискаємо клавішу \uparrow і після її відпускання за допомогою клавіш \triangle або ∇ набираємо в лівій частині верхнього ЦІ значення **01**, що відповідає порядковому номеру алгоблоку ОКО (рис. 13.1).
- Уводимо послідовно реквізити наведеного алгоритму (код, модифікатор, масштаб часу). Процедура введення аналогічна введенню


порядкового номера алгоблоку і виконується за схемою: клавіша  далі клавішами  або  встановлюються необхідні числові значення (табл. 13.2).

- Процес уведення всіх заданих схемою конфігурації алгоритмів ведуть у зростанні порядкових номерів алгоблоків. Для одержання можливості внесення змін і доповнень у схему конфігурації, що зростає ряд порядкових номерів має пропуски. Модифікаторам відсутніх алгоритмів надають значення: **00**.

- По завершенню процедури «алг» натисканням клавіші  переходять до процедури конфігурування. При цьому ЛІ світиться: «**конф**».

- У процедурі конфігурування встановлюються зв'язки між алгоблоками. Алгоблоки, на входи яких надходять сигнали, мають назву *алгоблоків-приймачів*. Алгоблоки, з виходів яких виходять сигнали, називаються *алгоблоками-джерелами*.

































- Після натискання клавіші  і її відпускання, за допомогою клавіш  або  набираємо в лівій частині верхнього ЦІ порядковий номер алгоблоку ОКО: **01**. Цей блок є приймачем декількох вхідних сигналів з виходів інших алгоблоків. Тому ще раз натискають клавішу  і, за допомогою клавіш  або  набирається номер 01 першого входу цього алгоблоку в правій частині верхнього ЦІ. На нижньому ЦІ по черговим натисканням клавіш  і  або  набираються параметри *алгоблоку-джерела*: його порядковий номер (у лівій частині) і номер виходу – у правій. Як правило, на перший вхід алгоблоку ОКО надходить вихідний сигнал алгоблоку ЗДН. Аналогічно встановлюються всі зв'язки за схемою конфігурації. Входи алгоблоків, на які надходять сигнали від *алгоблоків-джерел*, називаються *зв'язаними*. Незв'язані входи – *вільні*. Вони є настроявальними і слугують для введення констант або коефіцієнтів.

- Для інверсії (зміни знака на протилежний) вхідного сигналу, що позначається на вході алгоблоку невеликим кружком, перед уведенням параметрів *алгоблоку-джерела* натискається клавіша . При цьому ліворуч на нижньому ЦІ висвітлюється знак: «**—**».

- Покрокова процедура конфігурування зведена до таблиці 13.3.

Таблиця 13.3. Покрокова процедура конфігурування

№ з/п	Клавіш а	Результат
1	2	3
1		01 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то або)
2		01 (номер входу) – на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, то або)
3		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
4		08 (порядковий номер <i>алгоблоку-джерела</i>) – на нижньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то або)
5		01 (номер виходу) – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то або)
6		01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 1-5)
7		01 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
8		02 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
9		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
10		09 (порядковий номер <i>алгоблоку-джерела</i>) – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то або)
11		01 (номер виходу <i>алгоблоку-джерела</i>) – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то або)
12		01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 7-11)
13		02 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
14		03 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
15		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
16		00 – ознака вільного входу (початок шкали) ліворуч на нижньому ЦІ
17		00 – вид параметра настроювання – константа (якщо 01 – коефіцієнт) праворуч на нижньому ЦІ
18		01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 13-17)
19		03 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
20		04 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
21		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ

1	2	3
22		00 – ознака вільного входу (кінець шкали) ліворуч на нижньому ЦІ
23		00 – вид параметра настроювання – константа (якщо 01 – коефіцієнт) праворуч на нижньому ЦІ
24		01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 19-23)
25		04 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
26		05 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
27		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
28		— («мінус») – ліворуч на нижньому ЦІ
29		11 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то  або )
30		02 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то  або )
31		01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 25-30)
32		05 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
33		06 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
34		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
35		00 – ліворуч на нижньому ЦІ
36		12 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то  або )
37		01 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то  або )
38		01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 35-37)
39		06 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
40		07 – праворуч на верхньому ЦІ (номер входу <i>алгоблоку-приймача</i>)
41		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
42		00 – ліворуч на нижньому ЦІ
43		12 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то  або )

1	2	3
44	↑	01 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
45	↑	01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 39-44)
46	↑	13 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
47	↑	04 (номер входу) – на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, то △ або ▽)
48	↑	• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
49	↑	12 (порядковий номер <i>алгоблоку-джерела</i>) – на нижньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
50	↑	01 (номер виходу) – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
51	↑	01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 46-50)
52	↑	09 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
53	↑	01 (номер входу) – на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, то △ або ▽)
54	↑	• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
55	△	— («мінус») ліворуч на нижньому ЦІ
56	↑	12 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
57	↑	01 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
58	↑	01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 52-57)
59	↑	09 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
60	↑	02 (номер входу) – на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, то △ або ▽)
61	↑	• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
62	△	— («мінус») – ліворуч на нижньому ЦІ
63	↑	05 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
64	↑	01 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
65	↑	01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 59-64)

1	2	3
66	↑	12 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
67	↑	02 (номер входу) – на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, то △ або ▽)
68	↑	• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
69	↑	11 (порядковий номер <i>алгоблоку-джерела</i>) – на нижньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
70	↑	01 (номер виходу) – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
71	↑	01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 66-70)
72	↑	11 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
73	↑	01 (номер входу) – на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, то △ або ▽)
74	↑	• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
75	△	— («мінус») – ліворуч на нижньому ЦІ
76	↑	08 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
77	↑	01 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
78	↑	01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 52-57)
79	↑	09 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
80	↑	02 (номер входу) – на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, то △ або ▽)
81	↑	• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
82	△	— («мінус») – ліворуч на нижньому ЦІ
83	↑	05 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
84	↑	01 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то △ або ▽)
85	↑	01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 79-84)
86	↑	11 (порядковий номер <i>алгоблоку-приймача</i>) – на верхньому ЦІ ліворуч (якщо ні, то △ або ▽)
87	↑	02 – (номер входу) на верхньому ЦІ праворуч (якщо ні, те △ або ▽)






















1	2	3
88		• (точка) – ліворуч на нижньому ЦІ
89		— («мінус») – ліворуч на нижньому ЦІ
90		09 – ліворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то або)
91		01 – праворуч на нижньому ЦІ (якщо ні, то або)
92		01 – ліворуч на верхньому ЦІ: введення в ОЗУ набраної інформації (пункти 86-91)

Процедура настроювання необхідна для алгоблоків з вільними входами, на яких встановлюються верхня і нижня межа шкали вимірюваного параметра: входи 03 і 04 алгоритму ОКО; входи 03 – 10 алгоритму РАН, на яких встановлюються значення коефіцієнта масштабування, величини зони нечутливості регулятора, коефіцієнта пропорційності, часу інтегрування, зони обмеження вихідного сигналу регулятора і т.п.

Покроковий процес виконання процедури установки настроюваних параметрів наведений у таблиці 13.4.

Таблиця 13.4. Установка настроюваних параметрів

№ п/п	Клавіша	Результат
	2	3
1	або	Чи горить «настр»
2		На верхньому ЦІ ліворуч висвітлено порядковий номер алгоблоку
3	або	Набираємо 09 – порядковий номер необхідного алгоблока
4		На верхньому ЦІ праворуч висвітлено номер одного з входів алгоблоку
5	або	Набираємо 06 – номер входу для настроювання «коефіцієнта пропорційності»
6		На нижньому ЦІ висвітлено поточна величина настроюваного коефіцієнта
7	або	Установлюється необхідна величина коефіцієнта (0,703)
8		Запам'ятовуємо установлену величину коефіцієнта (при цьому на верхньому ЦІ ліворуч висвітлено номер настроюваного алгоблоку)
9		На верхньому ЦІ праворуч номер входу алгоблоку, що настроюється

1	2	3
10	 або 	Установлюється номер чергового входу, що настраюється, – 07
11		На нижньому ЦІ висвітлена поточна величина коефіцієнта, що настраюється, – «часу інтегрування»
12	 або 	Установлюється необхідна величина коефіцієнта (20), сек
13		Запам'ятовуємо установлену величину коефіцієнта (при цьому на верхньому ЦІ ліворуч висвітлено номер алгоблоку, що настраюється)
14	 або 	Набираємо 11 – порядковий номер необхідного алгоблоку
15		На верхньому ЦІ праворуч висвітлено номер одного з входів алгоблоку
16	 або 	Набираємо 06 – номер входу для настроювання «коефіцієнта пропорційності»
17		На нижньому ЦІ висвітлена поточна величина коефіцієнта, що настраюється
18	 або 	Установлюється необхідна величина коефіцієнта (0,812)
19		Запам'ятовуємо установлену величину коефіцієнта (при цьому на верхньому ЦІ ліворуч висвітлено номер алгоблоку, що настраюється)
20		На верхньому ЦІ праворуч номер входу настроюваного алгоблоку
21	 або 	Установлюється номер чергового входу, що настраюється, – 07
22		На нижньому ЦІ висвітлена поточна величина коефіцієнта, що настраюється, – «часу інтегрування»
23	 або 	Установлюється необхідна величина коефіцієнта (60), сек

Процедура «нач. усл.» використовується для безударного включення контролера в роботу на діючих об'єктах промисловості. При цьому керуючі сигнали, що надходять на виконавчі механізми, встановлюються такими, щоб положення регулюючого органу в момент включення контролера залишилося на колишньому рівні.

Процедура «ппзу» використовується для перезапису конфігурації системи з ОЗУ в особливу область пам'яті контролера, відкіля її можна видалити тільки за допомогою спеціального пристрою, а саме блоку стирання (БСТ).

Дві останні процедури в даній роботі не розглядаються.

Після виконання процедури «настр» виключають пульт настроювання ПН-1 за допомогою вимикача на зворотній його стороні.

13.4 Порядок виконання роботи

Ознайомитись з органами контролю і оперативного керування Р130 лицьової панелі (ПЛ), загальний вигляд якої представлено на рис. 13.3.

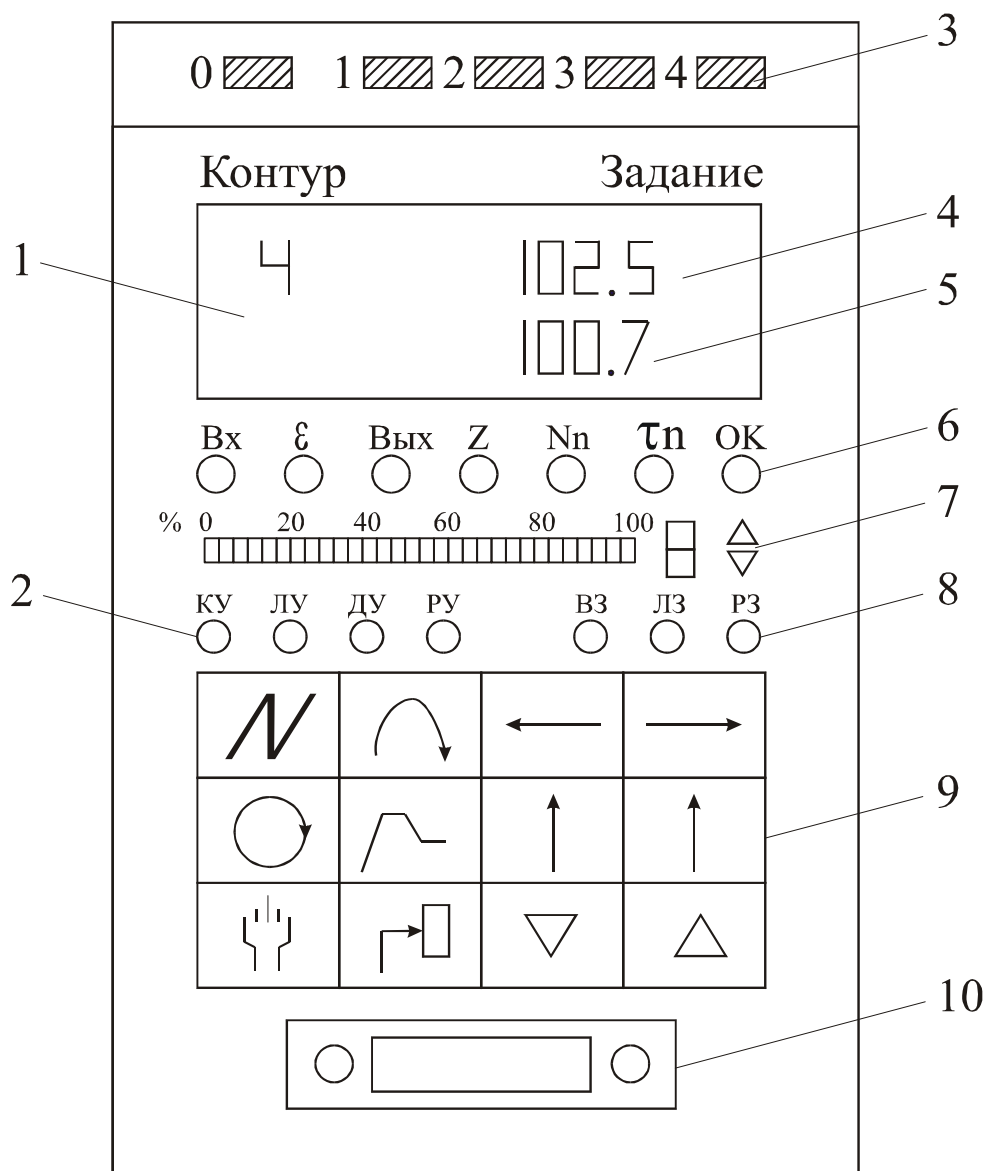




Рис. 13.3. Лицьова панель регулюючої моделі блоку БК контролера Р130

1 – номер контуру; 2 – режим керування; 3 – помилки; 4 – сигнал завдання; 5 – значення контрольованих параметрів; 6 – види контролю; 7 –

вихід; 8 – режими завдання; 9 – клавіатура; 10 – роз’єм для з’єднання пульта настроювання

Лицьова панель містить світлодіодні лампові індикатори (ЛІ), світлодіодні цифрові індикатори (ЦІ), шкальний індикатор і клавіатуру. У верхній частині 3 ПЛ розміщені п’ять ЛІ, що контролюють помилки. Однорозрядний ЦІ (контур) 1 показує номер контуру, з яким працює оператор. На чотирирозрядний ЦІ (завдання) 4 виводиться сигнал завдання. Сім ЛІ в групі (види контролю) 6 вказують, яка інформація виводиться на нижній 5 чотирирозрядний ЦІ. Шкальний індикатор 7 (вихід) має 21-ламповий індикатор і показує значення сигналу на виході контуру чи положення виконавчого механізму.



Два ЛІ «», «» у групі 7 сигналізують про роботу імпульсного регулятора в напрямку «менше» чи «більше». Чотири ЛІ (режим керування) 2 вказують, у якому режимі працює контур (каскадне КУ, локальне ЛУ, дистанційне ДУ і ручне РУ керування). Три ЛІ (режим завдання) вказують, який вид завдання встановлений у контурі (ручне РЗ, програмне ПЗ і зовнішнє ВЗ завдання). Перелік параметрів групи 6, які контролюють за нижнім ЦІ 5 такий: ВХ – вхідний сигнал (параметр регулювання); ε – сигнал розузгодження; Z – довільний сигнал, призначення якого програмується; $N_{\text{П}}$ – номер програми (при програмному регулюванні) і номер поточної ділянки програми; $\tau_{\text{П}}$ – час, що залишився до закінчення поточної ділянки програми; ОК – помилка контуру (вказується номер сигналу, що вийшов за припустимі значення).



Подальше виконання лабораторної роботи здійснюється в двох режимах, а саме програмування в процедурі настроювання параметрів за допомогою пульта настроювання ПН-1 та оперативного керування з використанням лицьової панелі ПЛ блоку БК.




13.4.1 Процедура настроювання параметрів у режимі програмування




Підключити пульт настроювання ПН-1 до роз’єму, розташованому на лицьовій панелі блоку контролера.



Перевести перемикач на зворотній стороні ПН-1 в положення «вкл».


Після загорання миготливого ЛІ світлом «робота» перевести послідовним натисканням клавіш ПН-1  і  з їх одночасним утриманням у режим програмування, що підтверджує висвітлювання ЛІ «прог». Після цього відпускаємо ці клавіші.



Перевести клавішами  чи  ПН-1 в режим процедури настроювання параметрів, що підтверджується ЛІ «настр». При цьому на верхньому ЦІ ліворуч буде висвітлено порядковий номер алгоблоку.

Клавішами клавіатури ПН-1  чи  набрати порядковий номер алгоблоку 09 та натиснути клавішу  клавіатури, що зумовить висвітлення на верхньому ЦІ номер одного з входів алгоблоку 09.




Натисканням клавіш  чи  клавіатури досягти номеру 04 входу алгоблоку 09 для настроювання постійної часу демпфірування (фільтрації) T_{Φ} . Після цього натиснути клавішу  клавіатури, що зумовить висвітлення на нижньому ЦІ поточної величини постійної часу T_{Φ} .




Встановити клавішами  чи  величину постійної часу T_{Φ} на рівні заданому викладачем (10 сек, 15 сек чи 20 сек).

Натисканням клавіші  здійснюється запам'ятовування встановленої величини постійної часу T_{Φ} , тобто введення в ОЗУ набраної інформації. При цьому на верхньому ЦІ ліворуч буде висвітлений номер налаштовуючого алгоблоку 09.

Послідовним натисканням клавіш  і  клавіатури з їх утриманням перевести ПН-1 в режим «робота». Після чого перемикач на зворотній стороні ПН-1 встановити в положення «відкл».



13.4.2 Режим оперативного керування


Перевести клавішами  або  клавіатури 9, щоб був висвітлений ЛІ «вх» групи 6 та натиснути клавішу , що забезпечить перехід АСР в автоматичний режим (ЛУ) керування.

Натиснути на лицьовій панелі БК з утриманням комбінації клавіш  + ( чи ) і встановити величину завдання (верхній ЦІ) регулятора РАН-2 близько

30 %. При цьому необхідно дочекатись моменту, коли поточне та задане значення по ЦІ 4 і 5 майже співпадають. Слід зазначити, що зміна показань ЦІ відбувається спочатку повільно, а потім з наростанням швидкості. Регулятор РАН-1 використовується в роботі як модель об'єкта з відповідною передатною функцією, яку необхідно визначити за результатами експерименту.

Підготувати таблицю щодо отримання даних по перехідному процесу (імпульсній характеристиці) АСР, у якій в першому стовпчику має бути час, у другому значення у відсотках параметру регулювання у відповідні моменти часу.

Шляхом натискання клавіші  клавіатури 9 перевести АСР у режим ручного керування РУ. При цьому буде висвітлений індикатор РУ на лицьовій панелі БК. Шляхом натискання клавіші  перевести індикатор 6 ПЛ в положення «вх».

Ввести миттєво збурюючий вплив в об'єкт керування за допомогою задатчика РЗД-22 на величину не більше 1 мА, що розташований справа на пульті управління. Через 10 сек необхідно повернути миттєво задатчик у початковий стан, що забезпечить отримання імпульсної характеристики об'єкта. Слід відзначити, що РЗД-22 можна інтерпретувати як переміщення виконавчого пристрою. Він вносить збурення і впливає на зміну параметра регулювання. Після внесення збурення задатчиком необхідно одразу знімати показання із занесенням їх до таблиці по нижньому ЦІ контролера спочатку протягом 10 сек через кожні 3 сек, а потім протягом 40 сек – через $5 \div 10$ сек та заносити їх до підготовленої таблиці. За умови рівності показань верхнього 4 і нижнього ЦІ запис значень припиняють і натисканням клавіші  ПЛ переводять АСР у режим ЛУ.

Після переходу в режим ЛУ переконатись у роботоздатності запрограмованої схеми конфігурування АСР шляхом нанесення збурення задатчиком РЗД-22 на 1 мА.

За даними таблиці будується на міліметровому папері у масштабі графік перехідного процесу (імпульсної характеристики) та виконується його обробка.

13.5 Обробка результатів досліджень

Процес перебудови отриманого графіку перехідного процесу (імпульсної характеристики) в звичайну часову характеристику (криву розгону) наочно ілюструється рис. 13.4.

На відрізку часу $0 - t_2$ (де t_2 – тривалість діяння, що збурює) імпульсна характеристика співпадає з розгінною. Добудова кривої розгону після зняття сигналу збурення здійснюється шляхом складання ординати $Y(t)$ кривої розгону для проміжку Δt з ординатою імпульсної характеристики для проміжку часу $\Delta t + t_2$.

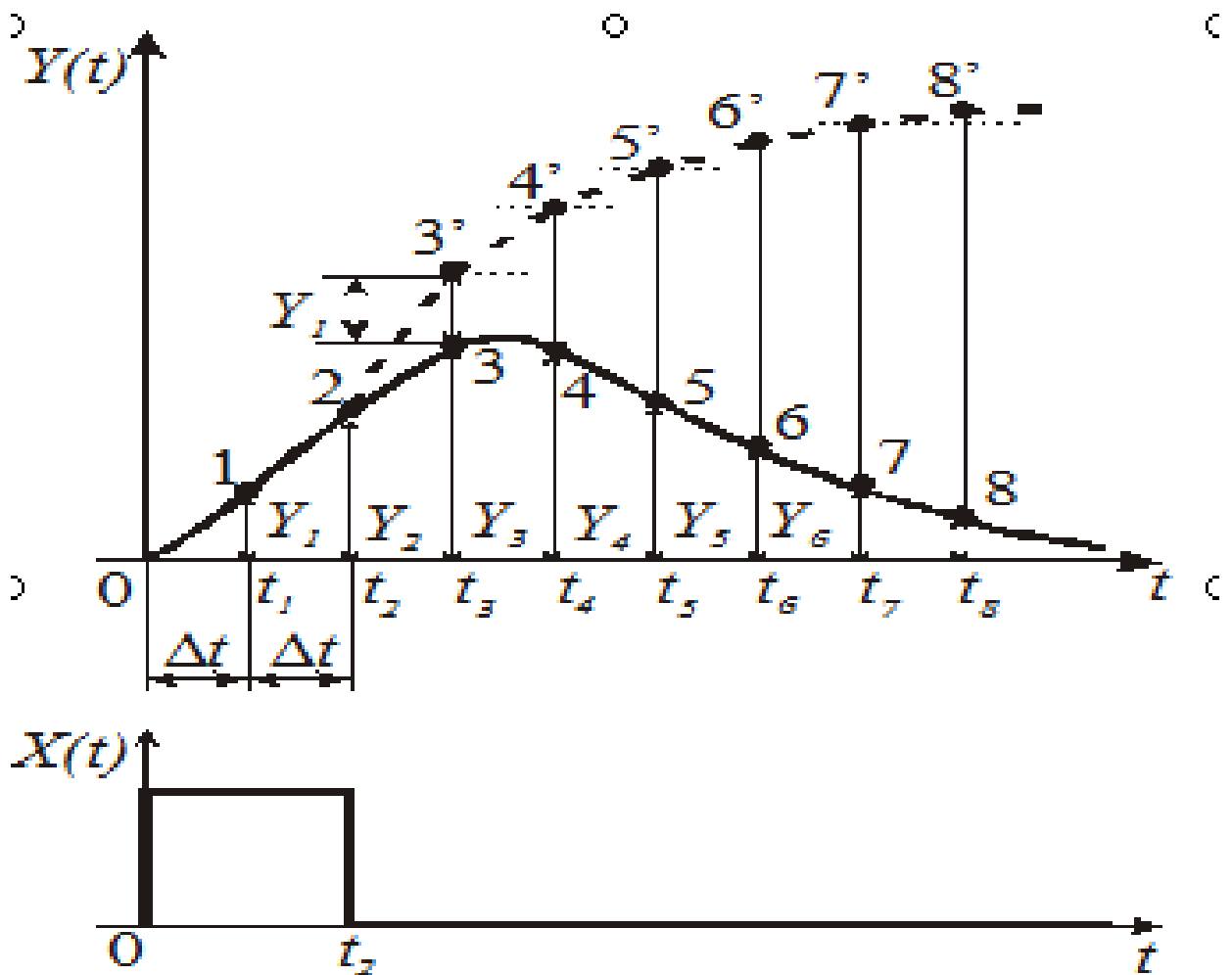


Рис. 13.4. Перебудова експериментальної імпульсної характеристики у криву розгону

Вісь часу при цьому розбивають на відрізки Δt ($\Delta t = t_2 / 2$ чи $t_2 / 3$). Для визначення ординати кривої розгону у точці t_3 до ординати $Y_3(t_3 = t_2 + \Delta t)$ додають ординату $Y_1(t = t_1)$ і таким чином отримують точку $3'$ ординати Y_3' кривої розгону. Для визначення ординати Y_4' в момент часу t_4 до ординати кривої розгону Y_2 додають ординату Y_4 імпульсної характеристики і т. п. Наприклад, для визначення ординати Y_7' в момент часу t_7 до побудованої у момент часу t_5 ординати кривої розгону Y_5' додають ординату Y_7 імпульсної характеристики і таким чином відбувається побудова звичайної кривої розгону об'єкта регулювання.

Побудовану криву розгону апроксимувати об'єктом першого порядку спрощеним методом шляхом проведення дотичної до отриманої кривої, яка забезпечить визначення постійної часу об'єкта T . При цьому коефіцієнт K підсилення об'єкту, як відомо визначається відношенням зміни вихідної величини Y (%) до зміни вхідної X (%).

Контрольні питання

1. Основні функціональні можливості контролера P130.
2. Побудувати функціональну схему конфігурування АСР з використанням бібліотечних алгоритмів, задіяних у лабораторній роботі.
3. Які основні процедури виконуються за допомогою пульта настроювання в режимі програмування?
4. Скільки і які реквізити має бібліотечний алгоритм контролера?
5. Призначення основних органів оперативного керування лицьової панелі блоку контролера БК.

Лабораторна робота 14

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЯМОХОДНОГО ВИКОНАВЧОГО ПРИСТРОЮ З ЕЛЕКТРОДВИГУННИМ ПРИВОДОМ

Мета роботи: ознайомитись з конструкцією і принципом роботи електродвигунного прямоходного виконавчого пристрою; засвоїти методику визначення основних характеристик електродвигунного прямоходного виконавчого механізму.

14.1 Опис лабораторного стенда та конструктивного оформлення виконавчого пристрою

Схема установки для дослідження характеристик електродвигунного виконавчого механізму (рис. 14.1) містить тумблер T_0 подачі електроживлення до виконавчого пристрою – ЕСПА 02 РГ, що складається з електродвигуна 1, розподільчої коробки 2, редуктора 3, стійки 4, керуючої коробки 5, регулюючого органу 6 та ручного дублера 7.

Панель розподільчої коробки 2 з'єднана з блоком керування 8 типу БУ 21, що забезпечує подачу електричного сигналу у бік «більше» чи «менше», та потенціометричним показчиком 9 типу ДУП-П для визначення у відсотках положення вихідного органу виконавчого механізму.

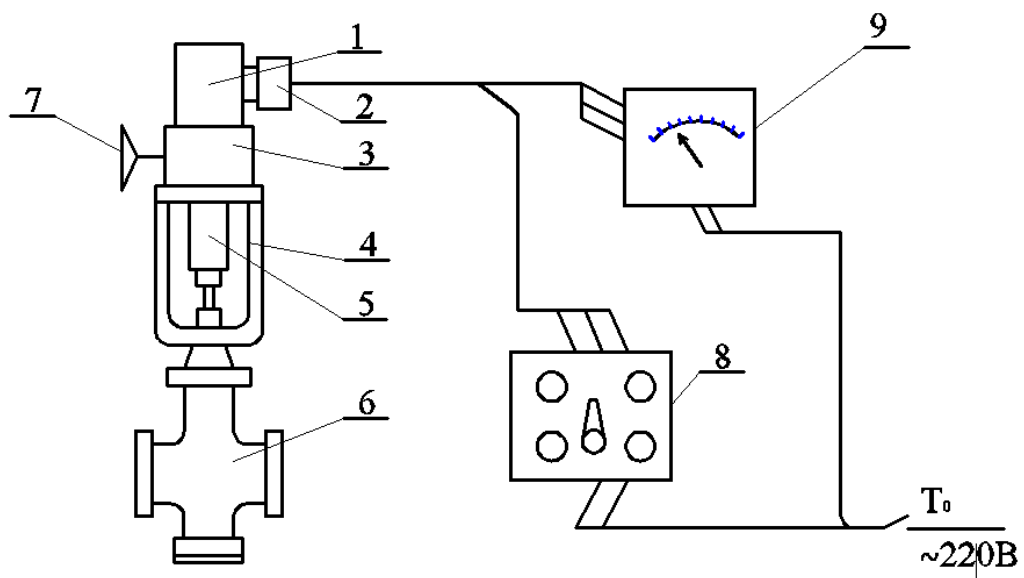


Рис. 14.1. Схема лабораторного стенду

Електродвигун 1 становить собою симетричний асинхронний двигун з пусковим конденсатором і має 1300 обертів на вихідному валу. Для покращення якості електричного механізму на вихідному валу двигуна монтується постійно діюче фрикційне гальмо. Два диски 25 та 26 (рис. 14.2) один з яких жорстко з'єднаний з валом електродвигуна, а другий – з фланцем, притиснуті один до одного за допомогою пружини 27. Шляхом переміщення зубчастого колеса 12 в осьовому напрямку по відношенню до валу електродвигуна пружина 27 натягується чи звільнюється, а отже, зменшується чи збільшується зусилля гальма.

Розподільча коробка 2, схема електричних з'єднань для якої наведена на рис. 14.3, нерухомо закріплена до електродвигуна чотирма гвинтами, і в ній за допомогою двадцяти затискачів закріплені виводи кінцевих вимикачів, електродвигуна, конденсатора і двох потенціометрів. У розподільчій коробці знаходиться також і пусковий конденсатор.

Редуктор 3 слугує для зменшення обертів двигуна, отримання чотирьох швидкостей штоку, здійснення ручного приводу і забезпечення вимикання електродвигуна при перевантаженні. Навколо двох осей 4 (рис. 14.2) нерухомо закріплених у фланці 3, обертаються шість блоків зубчастих коліс. Перші два 14 та 10 – суто пластмасові, третій – змішаний (пластмасове і металеве зубчасте колесо), а інші – суто металеві. З їх допомогою зменшується кількість обертів двигуна і передається на зубчасте колесо 6, а від нього на гайку 1, яка має вже поступальний рух. Для отримання чотирьох швидкостей (10, 16, 25 і 40 мм/хв.) штоку використовується набір зубчастих коліс, що входить до комплекту поставки виконавчого пристрою. Існуючий виконавчий пристрій настроєний на найменшу швидкість – 10 мм/хв.

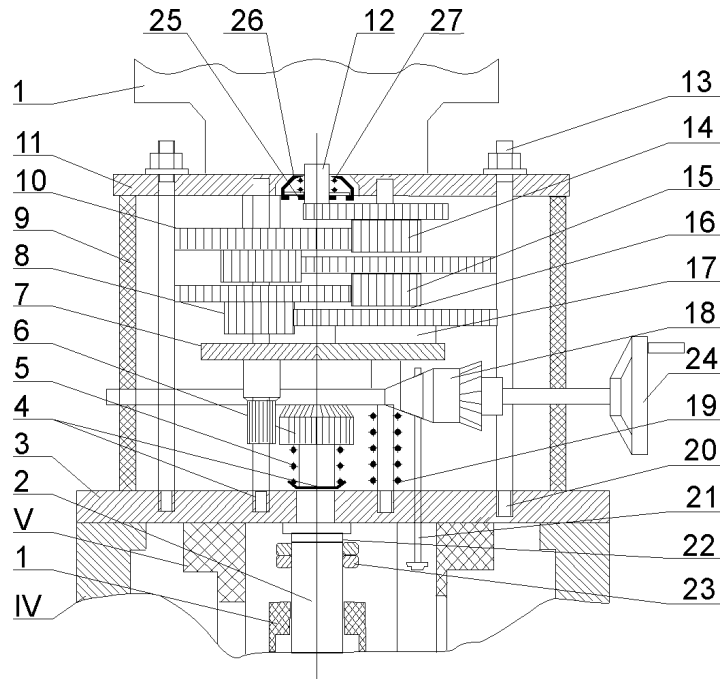


Рис. 14.2. Схема редуктора виконавчого пристрою типу ЕСПА 02 РГ

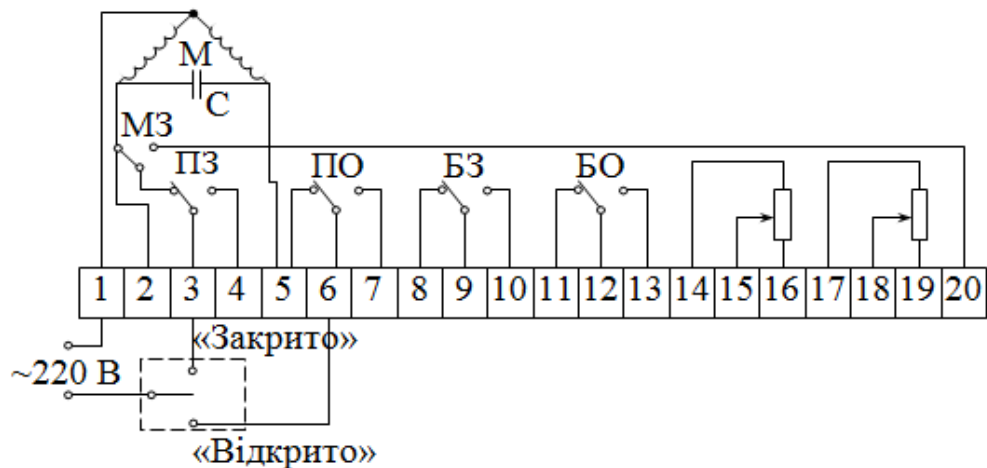


Рис. 14.3. Схема електричних з'єднань виконавчого пристрою типу ЕСПА 02 РГ:

М – електродвигун типу ЕОРКП 041/4; С – конденсатор МК-4, мкФ; R1 і R2 – потенціометри; МЗ – мікроперемикач по моменту «закрито»; ПЗ і ПО – мікроперемикачі відповідно по положенню «закрито» і «відкрито»; БЗ і БО – мікроперемикачі для блокування «закрито» і «відкрито», відповідно

Ручний привід регульовального клапану здійснюється за допомогою редуктора таким чином: з притисканням маховика 24 до кожуха 9 конус 18 виштовхує зубчастий блок 6 донизу, який виходить із зачеплення з зубчастим блоком 7. При цьому два конусних зубчастих колеса, що розташовані в зубчастому блоці 6 і на конусі 18, приходять в зачеплення. Таким чином припиняється зв'язок з двигуном і редуктором. При зворотному русі маховика пружина 5 переміщує

зубчастий блок 6 догори та відбувається зчеплення із зубчастим блоком 7. Ручний привід можна привести до дії при будь-якому положенні регулювального органу незалежно від того, працює електродвигун чи ні.

Для вимикання електродвигуна у випадку аварії при закриванні регулювального клапану використовуються два зубчастих колеса з косими зубцями, розташованими в зубчастих блоках 7 та 17. Зубчастий блок 7 в осьовому напрямку нерухливий на відміну від зубчатого блоку 17. З досягненням певного зусилля, а отже, певного обертового моменту, зубчастий блок 17, що підтримується в осьовому напрямку пружиною 19, переміщується донизу. При досягненні визначеного положення зубчатого блоку 17 за допомогою важеля 21 і вимикача 6 (рис. 14.4) припиняється подача напруги до електродвигуна для обертання в одному напрямку.

Стійка 4 застосовується для з'єднання виконавчого механізму з регулюючим органом та прикріплена до верхнього фланця регулюючого клапану за допомогою гайки, а до виконавчого механізму – за допомогою чотирьох бовтів М8.

Керуюча коробка 5 – це місце, де знаходяться п'ять кінцевих вимикачів, два потенціометри та місцевий візуальний показчик положення регулюючого органу. Переміщення повзуна реохорда 2 (рис. 14.4), а також притискання чотирьох вимикачів (8-БО, 9-ПО, 7-БЗ, 12-ПЗ) здійснюється за допомогою втулки 10. Втулка 10 складається з двох частин, притиснутих до гайки 13 за допомогою двох пружин 11. Спеціальна форма втулки 10 забезпечує спрацьовування кінцевих вимикачів блокування 8 та 7 за декілька секунд до досягнення крайніх положень регулюючого органу. Цей час незначний і залежить від швидкості переміщення вихідного органу механізму.

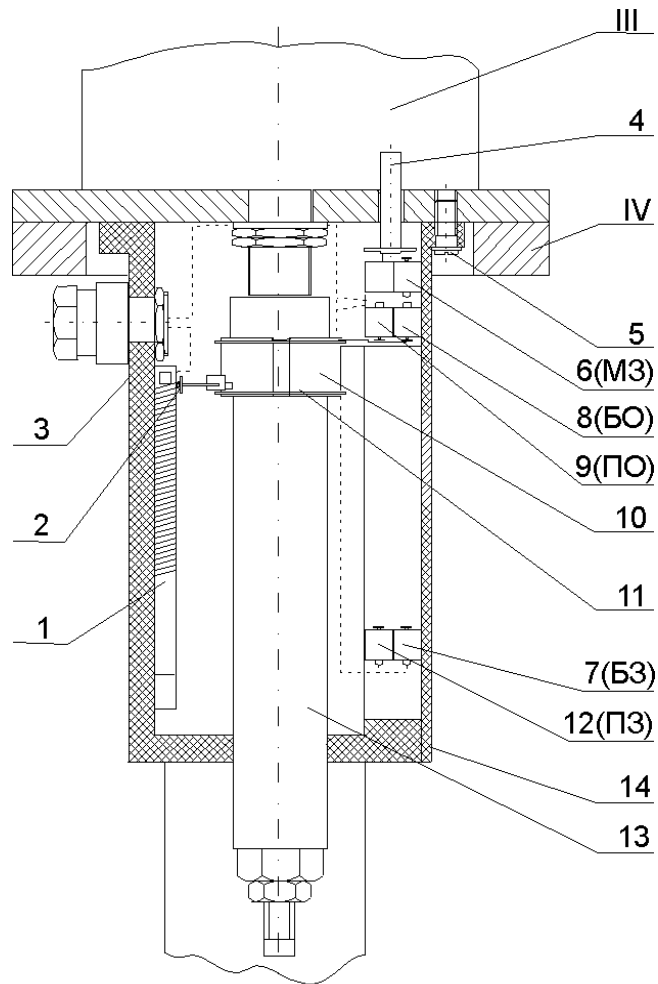


Рис. 14.4. Схема керуючої коробки виконавчого пристрою типу ЕСПА 02 РГ

У зв'язку з тим, що втулка 10 не фіксована по відношенню до гайки 13, виникає необхідність настройки кінцевих вимикачів 9-ПО та 12-ПЗ при з'єднанні регулюючого органу до виконавчого механізму. За умов нормальної роботи втулка 10 є нерухомою по відношенню до гайки 13, але при монтажі регулювального клапану до виконавчого механізму за допомогою ручного приводу вона має можливість переміщуватись відносно гайки 13.

Два потенціометри 1, що також розташовані в керуючій коробці, мають точно визначений хід 16, 25 чи 40 мм і повинні використовуватись для регулювального клапану з таким самим ходом.

Пропускна характеристика клапану – лінійна, максимальна пропускна здатність K_V – 10 т/год, припустиме протікання у затворі клапану – до 0,1 % від K_V .

14.2 Порядок виконання роботи

14.2.1 Визначення гістерезису датчика положення виконавчого механізму

Підготувати таблицю 14.1 для запису результатів досліджень.

Таблиця 14.1. Результати досліджень щодо визначення гістерезису датчика положення виконавчого механізму

Номер випробування i	Положення S_i вихідного органу (штоку), мм	Значення a_i показчика положення %		Величина гістерезису		Величина вибігу	
		прямий хід	зворотній хід	Δa_i , %	Δb_i , мм	Δx , %	у, мм
1	0						
2	4						
3	8						
4	12						
5	16						

Встановити тумблер T_0 у положення «вкл.». За допомогою кнопки блоку БУ 21 «більше» вивести виконавчий пристрій у крайнє положення, про що буде свідчити спрацьовування кінцевого вимикача і встановлення показчика положення виконавчого механізму на нульову позначку.

Провести вимірювання сигналу датчика в положеннях згідно табл. 14.1, рівномірно розташованих у межах діапазону повного ходу вихідного органу (штоку) виконавчого механізму. При цьому необхідно натиснути на кнопку «менше» блоку БУ 21 і в момент досягнення першої позначки $S_i = 4$ мм зафіксувати значення a_i на показчику типу ДУП-П. Отриманий результат занести до табл. 14.1. Далі повторити дії для інших положень S_i , наведених у табл. 14.1. Після досягнення крайнього положення щодо прямого ходу штоку перейти до вимірювань значень a_i у напрямку зворотного ходу штоку, що здійснюється шляхом натискання кнопки «більше» блоку БУ 21.

14.2.2 Визначення вибігу вихідного органу виконавчого механізму

Перевести виконавчий пристрій у положення повного відкриття регулюючого органу, за допомогою кнопки «більше» блоку БУ 21. При цьому

візуальний показчик виконавчого механізму буде знаходитись на нульовій позначці. Надалі включити виконавчий пристрій шляхом натискання кнопки «менше» блоку БУ 21 і при проходженні візуального показчика через першу позначку 4 мм миттєво відпустити кнопку. Після цього одночасно зафіксувати по шкалі приладу ДУП-П відстань у відсотках, на яку перемістився показчик приладу. Повторити випробування для інших позначок 8 мм і 12 мм, а отримані результати занести до табл. 14.1.

14.2.3 Визначення середньої відносної швидкості переміщення вихідного органу виконавчого механізму

Перевести виконавчий пристрій у крайнє положення, про що буде свідчити показчик виконавчого механізму та спрацьовування кінцевого вимикача. Включити відповідну кнопку «більше» чи «менше» блоку БУ 21 та зафіксувати час переміщення T_M показчика з одного крайнього положення в інший. Після цього шляхом натискання кнопки блоку БУ 21 провести вимірювання часу Δt_n (сек) переміщення візуального показчика виконавчого механізму на величину $\Delta S = 2$ мм. Випробування провести не менше трьох раз.

14.3 Обробка результатів досліджень

Величина гістерезису Δa_i за результатами даних табл. 14.1 визначається за рівнянням:

$$\Delta a_i = \left| a_i^{np} - a_i^{36} \right|, \quad (14.1)$$

де a_i^{np} , a_i^{36} – значення показчика відповідно при прямому та зворотному ході вихідного органу виконавчого механізму, %.

Переведення величини гістерезису з відсотків a_i в одиниці виміру візуального показчика Δb_i (мм) виконується за формулою:

$$\Delta b_i = 16\Delta a_i / 100 \quad (14.2)$$

Визначення середнього часу переміщення штоку Δt_{cp} за результатами випробувань здійснюється за рівнянням:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3}{3} \quad (14.3)$$

Середня відносна швидкість V переміщення вихідного органу розраховується за формулою:

$$V = \frac{\Delta S T_M}{16\Delta t_{cp}}. \quad (14.4)$$

Абсолютна швидкість V_a (мм/сек) визначається за рівнянням:

$$V_a = \Delta S / \Delta t_{cp}. \quad (14.5)$$

За результатами розрахунків побудувати графічну залежність $a_i = f(S_i)$.

Контрольні питання

1. Призначення та особливості конструкції виконавчого пристрою типу ЕСПА 02 РГ.
2. Визначення основних характеристик виконавчого електричного механізму чи регулюючого органу.
3. У яких випадках застосовується зворотній зв'язок по положенню виконавчого механізму в АСР?
4. Класифікацію існуючих електричних виконавчих пристроїв.
5. Виконати функціональну схему АСР із застосуванням виконавчого пристрою типу ЕСПА 02 РГ.

Лабораторна робота 15

ВІДПРАЦЮВАННЯ НАВИЧОК КОНФІГУРУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО РЕГУЛЯТОРА ТА ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ ПОВІТРЯ

Мета роботи: закріпити на практиці отримані теоретичні відомості про принципи побудови систем регулювання на базі технологічних мікропроцесорних регуляторів; вивчити принципи дії, функціональні можливості та експлуатаційні характеристики мікропроцесорного регулятора моделі *TPM202* виробництва компанії ТОВ «ВО ОВЕН» (Україна); отримати навички конфігурування регулятора *TPM202* за допомогою спеціальної програми «*Конфігуратор TPM101, TPM2xx*»; ознайомиться з засобом людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) на базі автоматизованого робочого місця (АРМ), створеного за допомогою спеціального програмного забезпечення *SCADA*-системи *Trace Mode V6*.

15.1 Опис обладнання, апаратного та програмного забезпечення лабораторного стенда

Стенд лабораторної роботи становить собою дворівневу систему управління тиском повітря в ресивері, яка складається з *апаратних засобів* автоматизації нижнього (польового) рівня з перетворювачем надлишкового тиску і регулятором *TPM202* як керуючого пристрою та *програмних засобів* автоматизації верхнього рівня, тобто АРМ оператора. Останнє розроблено в *SCADA*-системі *Trace Mode V6* та реалізовано на персональному комп'ютері з використанням операційних систем *Windows XP, 2000, 7*. Обмін даними між рівнем оператора та рівнем регулятора здійснюється за допомогою послідовного інтерфейсу *RS-485* за протоколами *ModBus* або *OWEN*. У зв'язку з тим, що ПК не має вбудованого до материнської плати інтерфейсу *RS-485*, для його з'єднання з регулятором використаний перетворювач інтерфейсів *RS-232/RS-485*, якій дозволяє фізично з'єднати *COM*-порт ПК та комунікаційний інтерфейс регулятора *TPM202*.

Мнемосхема лабораторного стенду, розроблена в *SCADA*-системі *Trace Mode V6* наведена на рис. 15.1. Власне стенд складається з технологічної лінії подачі повітря в ресивер з додатковим обладнанням: компресор, фільтр, редуктор, зразковий манометр, електромагнітний клапан, перетворювач тиску, регулятор та АРМ оператора.



Рис. 15.1. Кадр мнемосхеми побудови лабораторного стенду

У технологічну лінію подачі повітря до ресивера підключені зразковий манометр для вимірювання тиску в ресивері, мікропроцесорний перетворювач значення надлишкового тиску в сигнал постійного струму $4\div 20$ мА типу *АИР-20-М2 мод.140* виробництва компанії *Елемер* (Україна), мікропроцесорний двоканальний регулятор *ТРМ-202-Щ1.РР* щитового виконання з релейними виходами для управління електромагнітним клапаном типу «Н.З.», встановленому на виході технологічної лінії подачі повітря.

У лабораторному стенді на перший вхід регулятора *ТРМ202* подається сигнал постійного струму $4\div 20$ мА з виходу мікропроцесорного перетворювача тиску *АИР-20-М2 мод.140*. Особливістю перетворювача типу *АИР-20-М2* є те, що він може бути налаштований на вісім діапазонів значень тиску з максимальним значенням надлишкового тиску 250 кПа (це приблизно 2,467 атм. або рівно 2,5 бар). Згідно технічної документації на цей перетворювач він є одноканальним, з прямою лінійною характеристикою та з відношенням максимального значення межі до мінімального значення як 25:1. Визначити

модель та встановлений діапазон вимірювання можна за допомогою спеціальної позначки на корпусі пристрою.

До другого входу регулятора TRM202 підключений генератор сигналу постійного струму $4 \div 20$ мА. Генератор має 4-х розрядний індикатор для відображення значення сигналу постійного струму та ручку для задавання цього значення. Цей генератор повністю імітує роботу об'єкта з перетворювачем тиску та забезпечує формування фіксованого сигналу постійного струму або можливість зміни амплітуди в часі за різними законами: прямокутним, трикутним та пилоподібним. Тобто при використанні цього генератора тиск повітря імітується, тому не потрібно вмикати компресор. При цьому регулятор TRM202 буде функціонувати в звичайному режимі. Якщо потрібно, то сумісне використання обох вимірювальних входів дає можливість формувати різницю сигналів постійного струму, що відповідає роботі дифманометра. У підсумку можливе імітування вимірювання витрати повітря, але з деякими обмеженнями: сигнал генератора повинен бути меншим ніж сигнал від перетворювача, що відповідає вимірюванню витрати методом змінного перепаду тиску.

У фіксованому режимі потрібно повертати ручку пристрою до потрібного значення і для запам'ятовування цього значення однократно натиснути на цю ручку. В результаті на індикаторі з'являться послідовно три точки, що підтверджує занесення в пам'ять пристрою значення параметра. Після вимикання та подальшого вмикання генератора буде встановлено значення параметра, яке було раніше запам'ятовано.

Режим налаштувань законів змінювання параметрів уніфікованого сигналу постійного струму вмикається шляхом натискання на обертову ручку не менш п'яти секунд. Далі потрібно послідовно обрати закон зміни параметра та вказати інтервал часу й діапазон зміни амплітуди сигналу за допомогою обертання ручки.

Для запам'ятовування налаштувань потрібно після виходу з режиму налаштування натиснути однократно на обертову ручку. Після проведених налаштувань генератор буде вмикатись у потрібному режимі, якщо навіть він

вимикався. Параметри налаштування різних режимів роботи генератора сигналу постійного струму наведені в табл. 15.1.

Таблиця 15.1. Параметри налаштування генератора

Закон зміни параметру	Аргумент «режим роботи»	Перший імпульс			Другий імпульс		
		t1, сек	A1, мА	B1, мА	t2, сек	A2, мА	B2, мА
«Пряма пила»	FUN=1 (рис.15.2а)	10	4	20	-	-	-
«Зворотна пила»	FUN=1 (рис.15.2б)	10	20	4	-	-	-
Трикутний	FUN=2 (рис.15.3в)	10	4	20	10	20	4
Прямокутний	FUN=2 (рис.15.3г)	10	12	12	10	6	6

Діаграми сигналів, які відповідають налаштуванням генератора, представленим у табл. 15.1, зображені на рис. 15.2.

До вихідного пристрою першого каналу *TPM202* підключений електромагнітний клапан, який працює у двохпозиційному режимі. Зразковий манометр потрібен для точного визначення тиску та порівняння зі значенням регулятора. Для ручного встановлення тиску повітря в буферній ємкості використовується редуктор тиску. Повітря в технологічну лінію подається від компресора через фільтр очищення повітря.

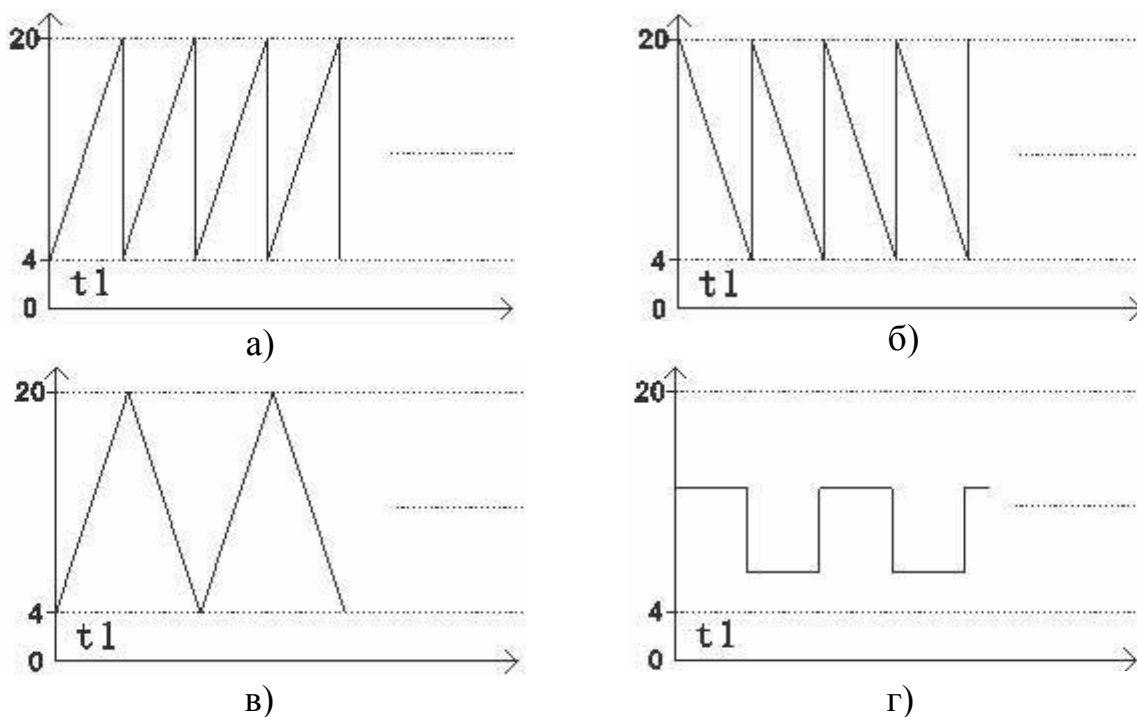


Рис. 15.2. Діаграми зміни значення уніфікованого сигналу постійного струму

15.2 Порядок виконання роботи

Згідно до мети проведення лабораторної роботи її виконання передбачає такі етапи:

- ознайомлення з обладнанням стенда, засобами управління та заходами безпеки при виконанні лабораторної роботи;
- проведення налаштування генератора сигналів постійного струму та конфігурування регулятора ТРМ202;
- проведення необхідних вимірювань та дослідження якості системи регулювання тиску в ресивері за різних значень уставок;
- ознайомлення з основними принципами дистанційного керування регулятором та можливостями людино-машинного інтерфейсу за допомогою SCADA-системи.

15.2.1 Налаштування генератора сигналу постійного струму

За вказівкою викладача налаштуйте генератор на визначений закон змінювання параметра сигналу (наприклад, трикутний) відповідно до табл. 15.1 та рис. 15.2. При цьому послідовність дій має дій буде такою.

Натисніть на обертову ручку протягом п'яти секунд до появи на індикаторі такого напису «FUN0», у якому символ «0» буде блимати. Обертанням ручки оберіть номер функції, наприклад, перший «FUN1», для пилоподібного закону змінювання параметру току. Натисніть на обертову ручку для зміни наступного параметру.

Наступний параметр $t1_{xx}$ – це час змінювання сигналу постійного струму, тобто довжина циклу. Діапазон встановлення цього параметру від 0 до 99 сек. Встановіть значення 10 сек та натисніть на кнопку для переходу до наступного параметру.

Наступний параметр $A1_{xx}$ – це значення амплітуди параметра на початку циклу. Діапазон встановлення цього параметру від 3 до 21 мА. Встановіть значення 4 мА та натисніть на кнопку для переходу до наступного параметру.

Наступний параметр $B1_{xx}$ – це значення амплітуди параметра у кінці циклу. Діапазон встановлення цього параметру від 3 до 21 мА. Встановіть значення 20 мА та натисніть на кнопку для переходу до наступного параметру.

Повторіть попередні дії, якщо за вказівкою викладача встановлено параметр «FUN2», а саме для трикутного та прямокутного законів змінювання параметрів току. Це будуть налаштування параметрів $t2_{xx}$, $A2_{xx}$ та $B2_{xx}$.

15.2.2 Функціональні можливості та порядок конфігурування регулятора

Прилади серії *TPM* виробництва ТОВ «ВО ОВЕН» призначені для вимірювання та автоматичного регулювання температури при використанні як первинних перетворювачів термометрів опору або термопар, а також інших фізичних параметрів, значення яких первинними перетворювачами (далі «датчиками») може бути перетворене в уніфікований сигнал постійного струму або напруги. На лицевій панелі регулятора встановлено два інформаційних індикатора: верхній – червоного кольору для відображення значення поточного фізичного параметру, нижній – зеленого кольору для відображення значення завдання. До того ж режим відображення значень для обох каналів може встановлюватись при конфігуруванні приладу.

Функціональна схема регулятора *TPM202* наведена на рис. 15.3.

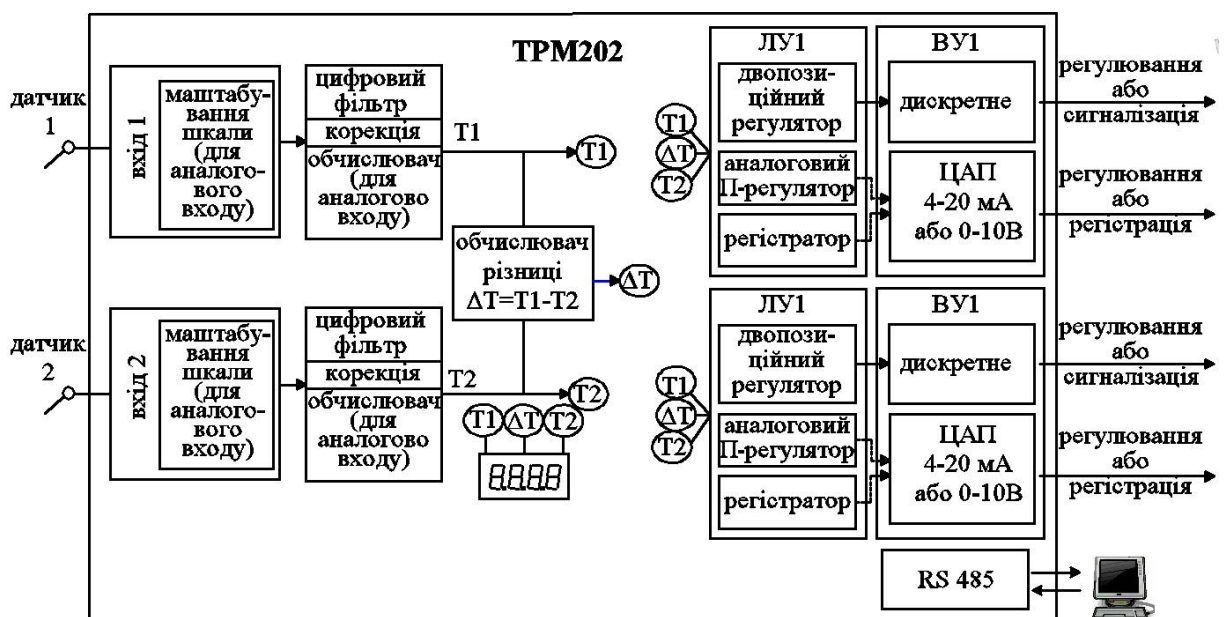


Рис. 15.3. Функціональна схема регулятора *TPM202*

У процесі роботи регулятор здійснює опитування датчиків, обчислює за отриманими даними поточні значення вимірюваних величин (або їхній квадратний корінь, або їхню різницю), відображає їх на індикаторі та видає відповідні керуючі сигнали на вихідні пристрої (залежно від типу вихідного пристрою та закону регулювання).

До складу регулятора входять:

- два універсальні входи для підключення датчиків;
- блок обробки даних, який призначений для цифрової фільтрації, корекції та регулювання вхідної величини;
- два вихідних пристрої, які залежно від виконання приладу можуть бути позиційного (компаратори) або аналогового типу з П-законом регулювання;
- два індикатори для відображення регульованої величини та завдання, або назви параметрів налаштування та їхніх значень.

Логічні пристрої, які входять до блоку обробки даних, формують сигнали управління вихідними пристроями відповідно до заданих режимів роботи регулятора.

В регуляторі *TPM202* можуть бути встановлені такі режими його роботи:

- двопозиційного регулятора з прямим та зворотним гістерезисом, тобто «холодильника» або «нагрівача» (у бік зменшення або збільшення поточного параметра);
- двопозиційного регулятора з прямою та зворотною логікою, тобто спрацювання вихідного пристрою при вході вимірюваного параметру в межі або при виході за межі.

Програмовані конфігураційні параметри для налаштування режимів роботи логічних пристроїв регулятора *TPM202* є такими:

- завдання для обох компараторів SP1 та SP2;
- значення гістерезису (зони нечутливості) для обох компараторів HYS1 та HYS2;
- тип логіки для обох компараторів CMP1 та CMP2;
- час затримки вмикання dOn1 і dOn2 та вимикання dOF1 і dOF2;

- мінімальний час утримання виходу логічного пристрою (ЛП) у замкненому t_{On1} і t_{On2} та розімкненому t_{OF1} і t_{OF2} станах.

Встановлення завдання для компараторів та гістерезису проводиться призначенням відповідних параметрів під час налаштування приладу. В регуляторі *TPM202* для логічних пристроїв у режимі двопозиційного регулювання застосовують такі типи вихідних пристроїв позиційного типу, а саме електромагнітне реле (Р), транзисторна оптопара (Т), оптосимістор (С), вихід для управління твердотільним реле (К). Режими роботи логічних пристроїв та їхні програмовані параметри, типи та діаграми роботи вихідних пристроїв представлені в табл. 15.2.

Таблиця 15.2. Режими роботи регулятора *TPM202* з вихідними пристроями ключового типу (Р, К, С, Т)

Програмований параметр (значення)	Режим роботи логічних пристроїв (ЛП1 та ЛП2)	Діаграма роботи вихідних пристроїв (ВП1 та ВП2)
CmP1(2)=00	Регулятор вимкнений	—
CmP1(2)=01	Двопозиційний регулятор: прямий гістерезис («нагрівач»)	<div> <div>ВМК.</div> <div>ВИМК.</div> </div>
CmP1(2)=02	Двопозиційний регулятор: зворотній гістерезис («холодильник»)	<div> <div>ВМК.</div> <div>ВИМК.</div> </div>
CmP1(2)=03	Двопозиційний регулятор: П-логіка (спрацювання при вході параметру в межі)	<div> <div>ВМК.</div> <div>ВИМК.</div> </div>
CmP1(2)=04	Двопозиційний регулятор: U-логіка (спрацювання при виході параметру за межі)	<div> <div>ВМК.</div> <div>ВИМК.</div> </div>

Для вказаних у табл. 15.2 режимів алгоритми роботи логічних пристроїв можуть бути такими:

1) зворотне управління застосовується для управління роботою «нагрівача» або сигналізування, що поточне значення $T_{\text{пот}}$ параметра менше заданого $T_{\text{завд}}$. При цьому вихідний пристрій, підключений до логічного пристрою, спочатку вмикається при значеннях $T_{\text{пот}} < (T_{\text{завд}} - \text{HYS})$, а вимикається при $T_{\text{пот}} > (T_{\text{завд}} + \text{HYS})$

і знов вмикається при $T_{\text{пот}} < (T_{\text{завд}} - \text{HYS})$, здійснюючи тим самим двохпозиційне регулювання по уставці $T_{\text{пот}}$ з гістерезисом $\pm \text{HYS}$;

2) пряме управління застосовується для управління роботою «охолоджувача» або сигналізації про перевищення значення уставки. При цьому вихідний пристрій спочатку вмикається при значеннях $T_{\text{пот}} > (T_{\text{завд}} + \text{HYS})$, а вимикається при $T_{\text{пот}} < (T_{\text{завд}} - \text{HYS})$;

3) логіка П-типу застосовується для сигналізації про знаходження контрольованої величини в заданому діапазоні. При цьому вихідний пристрій вмикається при $(T_{\text{завд}} - \text{HYS}) < T_{\text{пот}} < (T_{\text{завд}} + \text{HYS})$;

4) логіка U-типу застосовується для сигналізації про знаходження контрольованої величини поза межами заданого діапазону. При цьому вихідний пристрій вмикається при $T_{\text{пот}} < (T_{\text{завд}} - \text{HYS})$ і $T_{\text{пот}} > (T_{\text{завд}} + \text{HYS})$.

Конфігурування приладу можливе локально за допомогою кнопок на лицьовій панелі, або дистанційно – за допомогою спеціального програмного забезпечення, програми конфігурування регуляторів та вимірювачів серії TPM. Програма «Конфігуратор TPM101, TPM2XX» має за мету встановлення параметрів приладу, які складають його конфігурацію, тобто повний набір значень параметрів, що визначають роботу приладу.

Схема комунікаційних зв'язків між регулятором та ПК зображена на рис. 15.4.

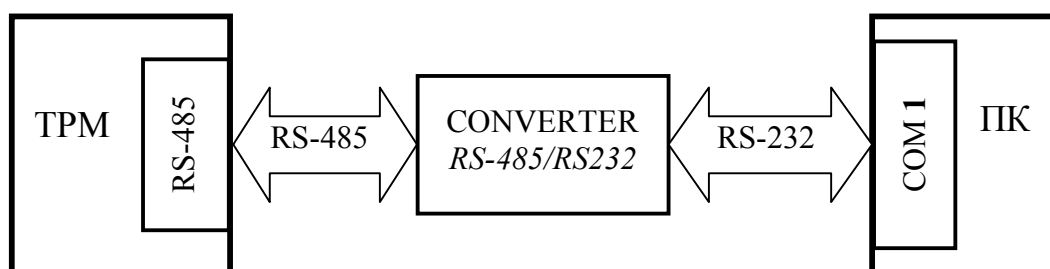



Рис. 15.4. Схема комунікаційних зв'язків обладнання лабораторного стенду

ВАЖЛИВО: після включення приладу він буде працювати у локальному режимі. Тому, потрібно його перевести в режим дистанційного керування з боку ПК. Це можливо лише за допомогою програми-конфігуратора.

Для запуску програми можна використати ярлик  на робочому столі ПК. Програму також можна запустити через меню «Пуск» у вкладці OWEN вибравши програму «Конфігуратор TPM101, TPM2XX» або запустити файл *TPM2xx.exe*, який знаходиться в директорії *C:\Program Files\Owen\TPM2xx*.**.

Основні можливості та порядок роботи з програмою «Конфігуратор» можна побачити в «Справке» до програми або в «Руководстве по эксплуатации» регулятора.

Отже, після запуску програми відкриється вікно (рис. 15.5), в якому необхідно по-перше, обрати потрібний регулятор (оберіть прилад моделі TPM202 останньої версії прошивки), а по-друге, налаштувати мережні параметри програми. Після обрання потрібного типу приладу в полі «Тип прибора:» натисніть ЛКМ на кнопку «Сетевые параметры программы».

У результаті відкриється вікно налаштування мережних параметрів програми. Вкажіть мережні параметри подібно до зображення, наведеного на рис. 15.6.

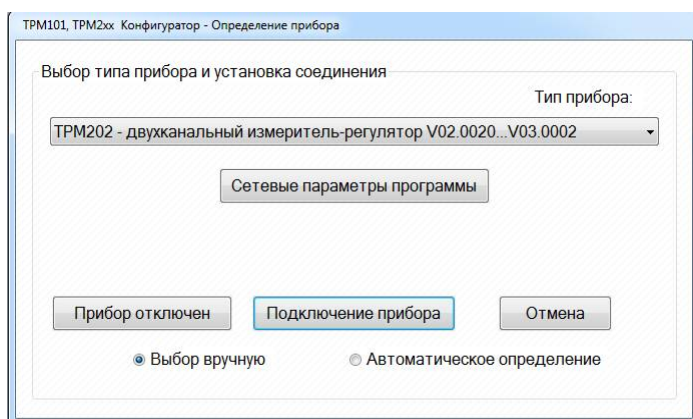


Рис. 15.5. Вікно вибору типу приладу

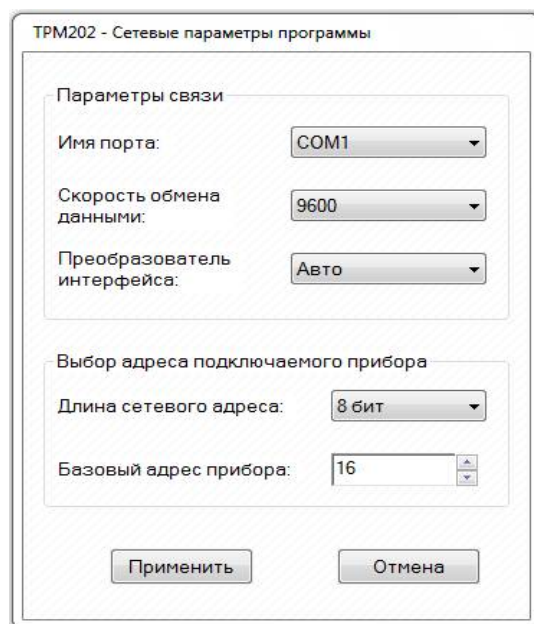


Рис. 15.6. Вікно налаштування мережних параметрів програми

Після натиснення ЛКМ на кнопку «*Применить*» та повернення в попереднє вікно (рис. 15.6) натисніть ЛКМ на кнопку «*Подключение прибора*». Далі програма встановлює зв'язок з приладом. При цьому повинна бути активована позначка «*Выбор вручную*». Підключення до приладу відбувається за умовчанням при значеннях мережних параметрів, які були встановлені при попередньому запуску програми. Якщо зв'язок встановлений, то відкриється головне вікно програми (рис. 15.7).

Вікно налаштувань групи оперативних параметрів приладу ТРМ (група LvoP і Adu – робочі параметри приладу): поточне значення параметра регулювання, значення уставки та основні режими роботи приладу, зображені на рис. 15.7. Якщо натиснути ЛКМ на кнопку з відповідним ім'ям параметру, то в полі праворуч відобразиться його значення.

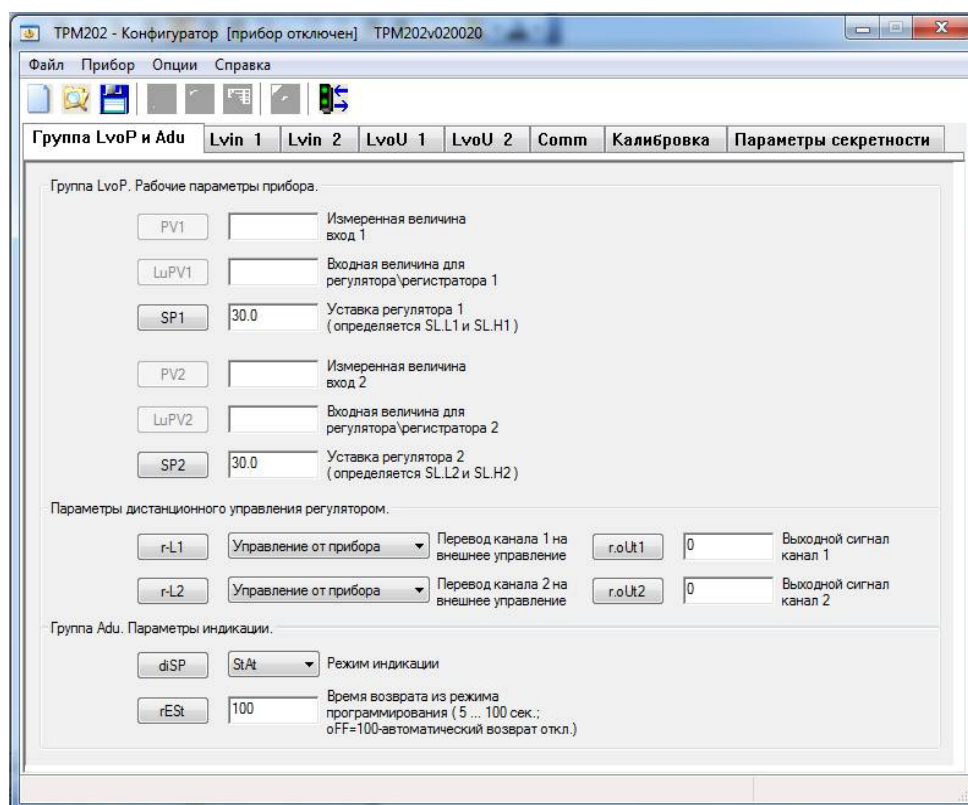


Рис. 15.7. Головне вікно програми «*Конфигуратор...*» приладу ТРМ

Далі необхідно зчитати параметри конфігурації приладу за допомогою команди «*Считать все*» з переліку меню «*Прибор*» або ЛКМ натиснути на

відповідну піктограму в рядку швидкого доступу до команд. Після зчитування параметрів конфігурації перевірити налаштування вхідних (Lvin1, Lvin2) та вихідних (LvoU1, LvoU2) каналів приладу. Для обох вхідних та вихідних каналів повинні бути встановлені параметри, значення яких наведено в табл. 15.3. Параметри, які не вказані в табл. 15.3, залиште за умовчанням. Якщо в конфігурації приладу є відмінності, необхідно встановити потрібні значення. Для цього, по-перше, заповніть відповідне поле напроти кнопки з ім'ям параметру; по-друге, виберіть команду «*Записать все*» з переліку меню «*Прибор*» або використайте відповідну піктограму в рядку швидкого доступу до команд. Можливий також поодинокий запис кожного параметру за допомогою контекстного меню, яке викликається натисканням ПКМ на відповідну кнопку з ім'ям параметру та вибором команди «*Записать параметр*».

Таблиця 15.3. Параметри налаштування генератора

Ім'я параметра	Перший канал	Другий канал
Вхідні канали		
in.t1	4 20 мА	4 20 мА
iLU1 / iLU2	Pv1	Pv2
dP1 / dP2	1	1
inL1 / inL2	0	0
inH1 / inH2	250	250
Вихідні канали		
SL.L1 / SL.L2	0	0
SL.H1 / SL.H2	250	250
CmP1 / CmP2	Пр.упр.холод.	Пр.упр.холод.

Насамкінець, необхідно встановити значення уставки та налаштувати прилад на дистанційний режим роботи для обох каналів. Значення уставок встановіть за вказівкою викладача у вікні з ім'ям «*Группа LvoP и Adu*». У полі «*Параметры дистанционного управления регулятором*» встановіть потрібний режим для обох каналів та знов запишіть до пам'яті приладу.

Оскільки передбачається доступ до даних модуля з боку ПК, перевірте мережні параметри інтерфейсу RS-485 в групі «*Сотт*» та налаштуйте відповідно до рис. 15.6, якщо це потрібно. Далі збережіть конфігурацію приладу на жорсткий

диск ПК, як це виконується в стандартних *Windows*-додатках. Тобто потрібно вибрати команду «*Сохранить*» з переліку меню «*Файл*» або використати відповідну піктограму в рядку швидкого доступу до команд. При цьому місцем збереження файлу конфігурації оберіть папку «Документи користувача».

15.2.3 Оперативне керування регулятором з використанням людино-машинного інтерфейсу, створеного в SCADA-системі Trace Mode V6

Програмне забезпечення лабораторного стенда реалізоване у вигляді АРМ оператора, встановленого на ПК для спостереження за технологічними параметрами та дистанційного управління параметрами регулятора. Також до програмного забезпечення входять спеціальні драйвери для організації зв'язку за протоколами *ModBus* та *OWEN* і табличний редактор *Excel* з пакету *Microsoft Office 2007* для реєстрування поточних параметрів тиску під час проведення лабораторної роботи.

Верхній рівень управління системою регулювання тиску призначений для моніторингу та диспетчерського управління і збору даних. У *SCADA*-системі *Trace Mode V6* розроблено програмне забезпечення АРМ оператора системи регулювання тиском, яке складається з людино-машинного інтерфейсу та системи комунікаційних зв'язків між ПК та регулятором.

Людино-машинний інтерфейс складають інтерактивні екрани з елементами відображення та управління. Загальний вигляд основного екрану (рис. 15.8) – це основний екран, на якому можна визначити параметри зв'язку з *TRM202* та відобразити технологічні параметри та налаштування регулятора. На екрані створені три зони: зона для відображення та зміни оперативних параметрів, зона відображення мережних параметрів приладу та зона із зображенням мнемосхеми технологічної лінії, яка відображує будову лабораторного стенда з вимірювальними приладами та обладнанням. Верхня частина екрану відображує стан технологічної лінії подавання повітря до ресиверу, тобто оперативні параметри та налаштування регулятора, а також конфігурацію комунікаційних параметрів приладу. Зона з оперативними параметрами інформує про поточне значення параметрів на обох каналах,

значення уставок та гістерезису, типів перетворювачів та типів логіки компараторів. Значення уставок, гістерезису та типу логіки можна змінювати за допомогою відповідних кнопок. Для цього потрібно ЛКМ визначити потрібне поле та в діалоговому вікні заповнити його і натиснути ЛКМ на кнопку підтвердження. Вікно з мережними налаштуваннями інформує про параметри мережного обміну: адресу, швидкість обміну та обраний протокол.

Також на екрані є кнопка виклику журналу подій та кнопки для переходу на додаткові екрани – екран с трендами та вікно зі звітом тривог. Якщо натиснути на кнопку «График процессов», відкриється вікно с трендами в реальному часі (рис. 15.9). Для повернення до головного екрану використовується кнопка «Возврат».

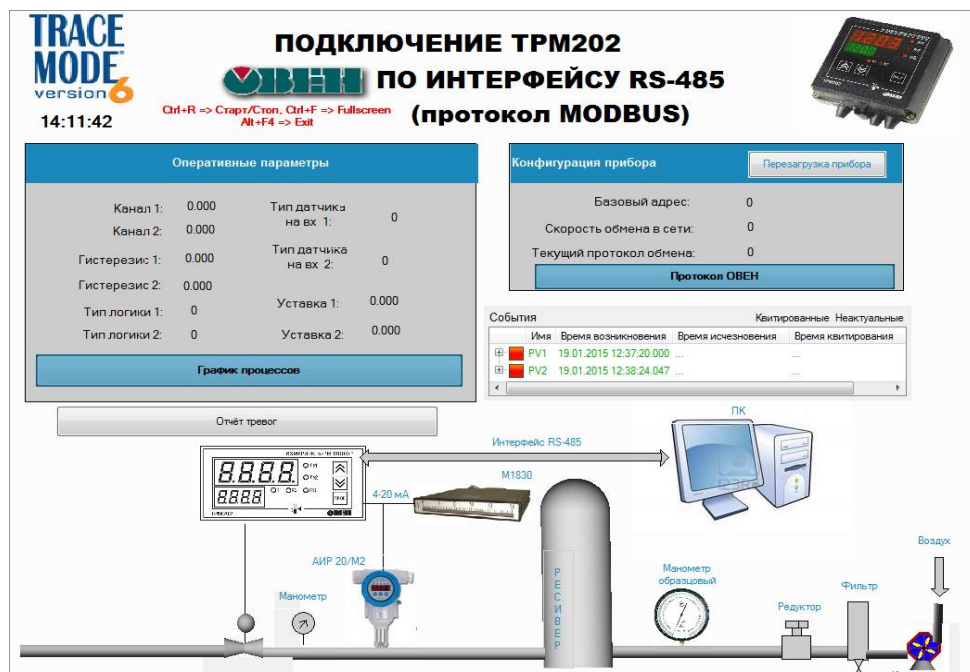


Рис. 15.8. Вікно з головним екраном АРМ оператора

Для дистанційного керування регулятором та виконання завдання лабораторної роботи потрібно виконати такі дії.

Переведіть прилад *TPM202* на дистанційне керування по мережі *RS-485*.

Запустить у ПК файл *TRM202.prj* для виконання АРМ оператора за допомогою ярлика швидкого запуску на робочому столі ПК.

Установіть параметри регулювання за вказівкою викладача та проведіть дослідження, які описані нижче. При цьому в разі необхідності здійснюйте переходи між головним екраном та екраном з трендами.

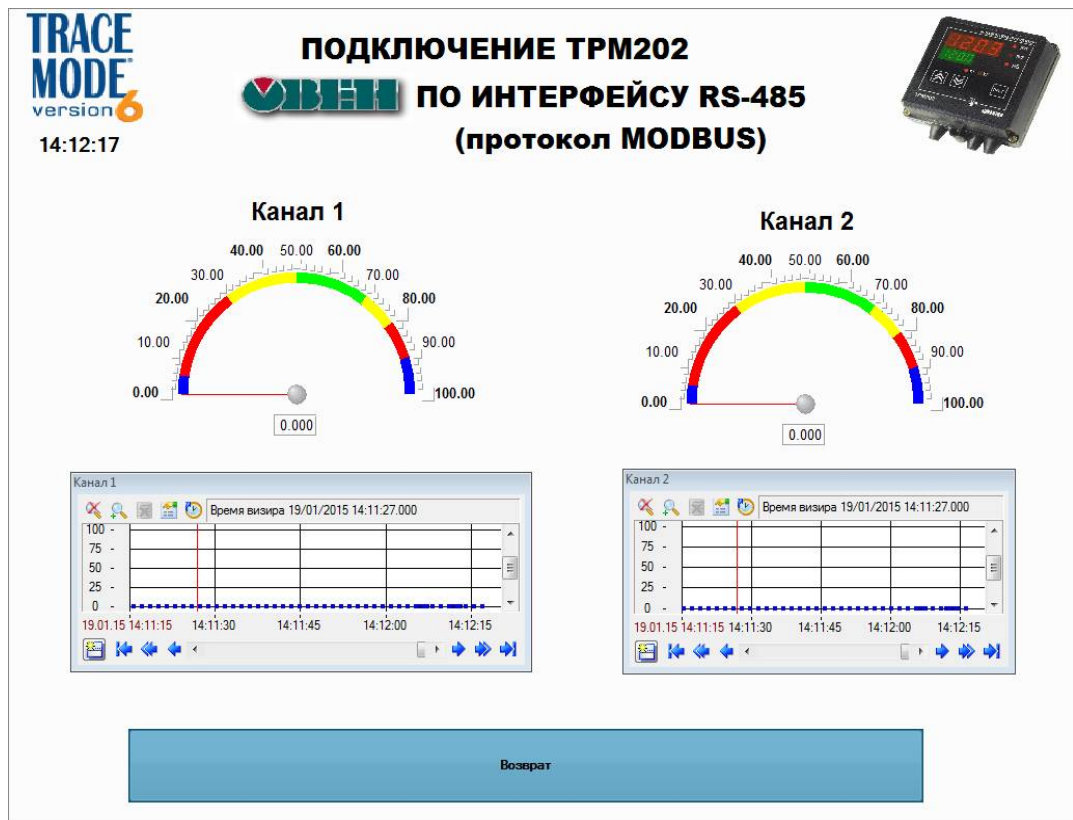


Рис. 15.9. Вікно з трендами АРМ оператора

Отже, після вмикання живлення стенду та ПК проведіть конфігурування регулятора, здійсніть вимірювання та заповніть заздалегідь підготовлені табл. 15.4 для обох каналів: у першому випадку для виміру реального тиску в технологічній лінії подавання повітря до ресиверу; в другому – для тиску, що імітується генератором.

Для заповнення цієї таблиці необхідно для другого (табл. 15.2) режиму позиційного регулятора $СмР1(2)$ встановити тип логіки та вказані в рядках таблиці значення завдання для регулятора $P_{завд}$. Для всіх випадків встановіть значення гістерезису HYS на рівні 10 % від значення максимальної межі вимірювання (для 250 кПа це буде 2,5 кПа). Далі, за допомогою редуктора повільно збільшуйте тиск та фіксуйте момент спрацювання вихідного пристрою (вмикання світлодіодів $K1$ та $K2$ на лицьовій панелі регулятора) і відповідне значення тиску на регуляторі (у відповідному вікні АРМ) та на зразковому манометрі. Таким же чином проведіть вимірювання у зворотному напрямку, тобто зменшуючи тиск за допомогою редуктора.

Таблиця 15.4. Результати вимірів та розрахунків

Завдання (Р _{завд}), % діапазону / Р, кПа / I, мА	Показання зразкового манометра		Показання регулятора		Різниця показань тисків		Розрахункове значення УСС у регуляторі
	Р _{зраз} , кПа		Р _{вим} , кПа		Р _{зраз} –Р _{вим}		
	+	–	+	–	+	–	
25 % – 62,5 кПа – 8 мА							
50 % – 125 кПа – 12 мА							
75 % – 187,5 кПа – 16 мА							

Повторіть подібні дослідження для другого каналу та вдруге заповніть табл. 15.4. Але для встановлення значення уніфікованого сигналу постійного струму замість редуктора тиску використовуйте ручку та індикатор генератора. Порівняйте отримані результати та зробіть висновки.

15.3 Обробка результатів досліджень

Для розрахунку значення тиску, яке відповідає значенню уніфікованого сигналу постійного струму на виході перетворювача тиску, використовується така формула:

$$FIZ = [(D_m - D_0) \cdot (PAR - K_0) / (K_m - K_0)] + D_0, \quad (15.1)$$

де FIZ – значення параметру у фізичних одиницях виміру, кПа;

D_m та D_0 – межі вимірювання параметру у фізичних одиницях виміру, кПа;

K_m та K_0 – межі вимірювання параметру на виході перетворювача, мА;

PAR – поточне значення параметру на виході перетворювача, мА.

Принцип перетворення поточного значення параметру на виході перетворювача тиску в значення параметру в фізичних одиницях виміру наведено на рис. 15.10.

Наприклад, для перетворювача надлишкового тиску з межами

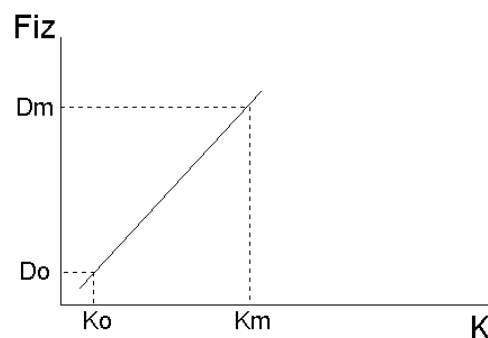


Рис. 15.10. Принцип перетворення поточного значення параметру

вимірювання 0 та 250 кПа в уніфікований сигнал постійного струму 4 20 мА вираз (15.1) буде виглядати так:

$$FIZ=250 \cdot (PAR-4)/16 \text{ [кПа]}, \quad (15.2)$$

якщо струм дорівнює 8,5 мА, то тиск повітря відповідає значенню 70,3125 кПа.

Зворотнє перетворення надасть можливість розрахувати значення уніфікованого сигналу постійного струму (PAR):

$$PAR=FIZ \cdot 16/250+4 \text{ [мА]}. \quad (15.3)$$

За формулою (15.3) розрахуйте значення уніфікованого сигналу постійного струму (УСС) для останнього стовпчика в табл. 15.4, яке формує перетворювач тиску.

Контрольні запитання

1. Яке призначення, функціональні можливості та технічні характеристики регуляторів серії ТРМ виробництва ОВЕН?
2. Основні органи управління та засоби індикації регуляторів серії ТРМ.
3. Які режими регулювання можуть бути реалізовані для вихідних пристроїв позиційного типу в регуляторах серії ТРМ?
4. Які параметри налаштування регуляторів відносяться до оперативних та конфігураційних?
5. У чому полягає принцип дистанційного керування з боку АРМ оператора?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. TRACE MODE 6. Интегрированная SCADA/HMI-SOFTLOGIC-EAM-HRM-система для АСУ ТП, АСКУЭ и систем управления производством : в 2 т. Т. 1 : Руководство пользователя. – М. : Adastra Research Group, 2008. – 517 с. URL: http://www.adastra.ru/products/dev/free_SCADA/ (дата звернення: 25.01.2019).
2. Бабіченко, А. К. Практикум з вимірювань та технічних засобів автоматизації : навч.-метод. посіб. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, І. Л. Красніков, О. В. Пугановський. – Х. : НТУ «ХП», 2009. – 114 с.
3. Бурдун, Г. Д. Основы метрологии: учеб. пособ. для вузов. / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Маркин. – 3-е изд., перераб. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 256 с.
4. Измеритель-регулятор многофункциональный двухканальный. Руководство по эксплуатации ОВЕН ТРМ202. – Х. : ТОВ «ВО ОВЕН». 100 С. URL: https://owen.ua/uploads/64/re_oven_trm202_ukr_540.pdf. (дата звернення: 25.01.2019).
5. Маркин, Н. С. Метрология. Введение в специальность / Н. С. Маркин, В. С. Ершов. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 208 с.
6. Мікропроцесорні засоби в автоматизованих системах керування технологічними процесами : підруч. для студ. вищ. навч. закладів / А. К. Бабіченко, І. Л. Красніков, Ю. А. Бабіченко та ін. ; за ред. А. К. Бабіченка. – Х. : Вид-во ТОВ «Водний спектр Джі-Ен-Пі», 2016. – 440 с.
7. Наладка средств измерений и систем технологического контроля : справочное пособ. / А. С. Ключев, Л. Н. Пин, Е. И. Коломиец, С. А. Ключев ; под ред. А. С. Ключева. – 2-е изд. перераб и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 400 с.
8. Основы вимірювань і автоматизації технологічних процесів : підруч. для студ. вищ. навч. закладів / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. І. Вельма та ін. ; за ред. А. К. Бабіченка. – Х. : Вид-во ТОВ «С.А.М.», 2009. – 616 с.
9. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої : навч. посіб. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, М. О. Подустов та ін. ; за ред. А. К. Бабіченка. – Х. : НТУ «ХП», 2001. – 470 с.

10. Промислові засоби автоматизації. Ч. 2. Регулювальні і виконавчі пристрої : навч. посіб. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін. ; за ред. А. К. Бабіченка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2003. – 658 с.
11. Пустыльник, Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М. : Изд-во «Наука», 1968. – 288 с.
12. Програма-конфігуратор регуляторів серії TPM101, TPM2xx. URL: https://owen.ua/uploads/94/setup_tpm101_tpm2xx_3.0.5.zip (дата звернення: 25.01.2019).
13. Сobotка, З. Микропроцессорные системы ; пер. с чешк. / З. Сobotка, Я. Стары. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 496 с.

Значення функцій Лапласа

Таблиця А.1. Значення функції $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$

х	Φ(х)	х	Φ(х)	х	Φ(х)	х	Φ(х)
1	2	3	4	5	6	7	8
0,00	0,0000	0,11	0,0438	0,22	0,0871	0,33	0,1293
0,01	0,0040	0,12	0,0478	0,23	0,0910	0,34	0,1331
0,02	0,0080	0,13	0,0517	0,24	0,0948	0,35	0,1368
0,03	0,0120	0,14	0,0557	0,25	0,0987	0,36	0,1406
0,04	0,0160	0,15	0,0596	0,26	0,1026	0,37	0,1443
0,05	0,0199	0,16	0,0636	0,27	0,1064	0,38	0,1480
0,06	0,0239	0,17	0,0675	0,28	0,1103	0,39	0,1517
0,07	0,0279	0,18	0,0714	0,29	0,1141	0,40	0,1554
0,08	0,0319	0,19	0,0753	0,30	0,1179	0,41	0,1591
0,09	0,0359	0,20	0,0793	0,31	0,1217	0,42	0,1628
0,10	0,0398	0,21	0,0832	0,32	0,1255	0,43	0,1664
0,44	0,1700	0,91	0,3186	1,38	0,4162	1,85	0,4678
0,45	0,1736	0,92	0,3212	1,39	0,4177	1,86	0,46*6
0,46	0,1772	0,93	0,3238	1,40	0,4192	1,87	0,4693
0,47	0,1808	0,94	0,3264	1,41	0,4207	1,88	0,4699
0,48	0,1844	0,95	0,3289	1,42	0,4222	1,89	0,4706
0,49	0,1879	0,96	0,3315	1,43	0,4236	1,90	0,4713
0,50	0,1915	0,97	0,3340	1,44	0,4251	1,91	0,4719
0,51	0,1950	0,98	0,3365	1,45	0,4265	1,92	0,4726
0,52	0,1985	0,99	0,3389	1,46	0,4279	1,93	0,4732
0,53	0,2019	1,00	0,3413	1,47	0,4292	1,94	0,4738
0,54	0,2054	1,01	0,3438	1,48	0,4306	1,95	0,4744
0,55	0,2088	1,02	0,3461	1,49	0,4319	1,96	0,4750
0,56	0,2123	1,03	0,3485	1,50	0,4332	1,97	0,4756
0,57	0,2157	1,04	0,3508	1,51	0,4345	1,98	0,4761
0,58	0,2190	1,05	0,3531	1,52	0,4357	1,99	0,4767
0,59	0,2224	1,06	0,3554	1,53	0,4370	2,00	0,4772
0,60	0,2257	1,07	0,3577	1,54	0,4382	2,02	0,4782
0,61	0,2291	1,08	0,3599	1,55	0,4394	2,04	0,4793
0,62	0,2324	1,09	0,3621	1,56	0,4406	2,06	0,4803
0,63	0,2357	1,10	0,3643	1,57	0,4418	2,08	0,4812
0,64	0,2389	1,11	0,3665	1,58	0,4429	2,10	0,4821
0,65	0,2422	1,12	0,3686	1,59	0,4441	2,12	0,4830
0,66	0,2454	1,13	0,3708	1,60	0,4452	2,14	0,4838
0,67	0,2486	1,14	0,3729	1,61	0,4463	2,16	0,4846

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8
0,68	0,2517	1,15	03749	1,62	0,4474	2,18	0,4854
0,69	0,2549	1,16	0,3770	1,63	0,4484	2,20	0,4861
0,70	0,2580	1,17	03790	1,64	0,4495	2,22	0,4868
0,71	0,2611	1,18	03810	1,65	0,4505	2,24	0,4875
0,72	0,2642	1,19	03830	1,66	0,4515	2,26	0,4881
0,73	0,2673	1,20	0,3849	1,67	0,4525	2,28	0,4887
0,74	0,2703	1,21	03869	1,68	0,4535	230	0,4893
0,75	0,2734	1,22	0,3883	1,69	0,4545	2,32	0,4898
0,76	0,2764	1,23	0,3907	1,70	0,4554	2,34	0,4904
0,77	0,2794	1,24	0,3925	1,71	0,4564	236	0,4909
0,78	0,2823	1,25	0,3944	1,72	0,4573	2,38	0,4913
0,79	0,2852	1,26	0,3962	1,73	0,4582	2,40	0,4918
0,80	0,2881	1,27	0,3980	1,74	0,4591	2,42	0,4922
0,81	0,2910	1,28	0,3997	1,75	0,4599	2,44	0,4927
0,82	0,2939	1,29	0,4015	1,76	0,4608	2,46	0,4931
0,83	0,2967	1,30	0,4032	1,77	0,4616	2,48	0,4934
0,84	0,2995	1,31	0,4049	1,78	0,4625	2,50	0,4938
0,85	0,3023	1,32	0,4066	1,79	0,4633	2,52	0,4941
0,86	03051	1,33	0,4082	1,80	0,4641	2,54	0,4945
0,87	0,3078	1,34	0,4099	1,81	0,4649	2,56	0,4948
0,88	0,3106	1,35	0,4115	1,82	0,4656	2,58	0,4951
0,89	03133	1,36	0,4131	1,83	0,4664	2,60	0,4953
0,90	0,3159	1,37	0,4147	1,84	0,4671	2,62	0,4956
2,64	0,4959	2,78	0,4973	2,90	0,4981	3,20	0,49931
2,66	0,4961	2,80	0,4974	2,92	0,4982.	3,40	0,49966
2,68	0,4963	2,82	0,4976	2,94	0,4984	3,60	0,49984
2,70	0,4965	2,84	0,4977	2,96	0,49846	3,80	0,499928
2,72	0,4967	2,86	0,4979	2,98	0,49856	4,00	0,499968
2,74	0,4969	2,88	0,4980	3,00	0,49865	5,00	0,499997
2,76	0,4971						

Значення параметру розподілу d

Таблиця Б .1 Значення q -відсоткових крапок розподілу функції $d = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{ns^*}$

Кількість спостережень	При $q / 2, \%$			При $(1 - q) / 2, \%$		
	1	5	10	90	95	99
11	0,9359	0,9073	0,8899	0,7409	0,7153	0,6675
16	9137	8884	8733	7452	7236	6829
21	9001	8768	8631	7452	7304	6950
26	8901	8686	8570	7530	7360	7040
31	8827	8625	8511	7559	7404	7110
36	8769	8578	8468	7583	7440	7167
41	8722	8546	8436	7604	7470	7216
46	8682	8508	8409	7628	7496	7256
51	8648	8481	8385	7636	7518	7291

Значення довірчої ймовірності P і кількості різниць m

Таблиця В.1. Значення α з рівняння $1 - \sum_{i=1}^m c_n^k (1 - \alpha)^k \alpha^{n-k} = q$

n	m	Рівень значимості $\alpha, \%$		
		1	2	5
10	1	0,98	0,98	0,96
11 -14	1	0,99	0,98	0,97
15-20	1	0,99	0,99	0,98
21-22	2	0,98	0,97	0,96
23	2	0,98	0,98	0,96
24-27	2	0,98	0,98	0,97
28-32	2	0,99	0,98	0,97
33-35	2	0,99	0,98	0,98
36-49	2	0,99	0,99	0,98

Значення функції $a(\Omega_n^2)$ за критерієм Мозеса-СмирноваТаблиця Г.1. Значення функції $a(\Omega_n^2)$

Значення Ω_n^2	Значення $a(\Omega_n^2)$										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,005	0,007
0,2	0,010	0,013	0,016	0,020	0,025	0,030	0,035	0,041	0,048	0,055	0,062
0,3	0,062	0,070	0,078	0,086	0,095	0,104	0,113	0,122	0,132	0,141	0,151
0,4	0,151	0,161	0,171	0,181	0,192	0,202	0,212	0,222	0,233	0,243	0,253
0,5	0,253	0,263	0,274	0,284	0,294	0,304	0,313	0,323	0,333	0,343	0,352
0,6	0,352	0,361	0,371	0,380	0,389	0,398	0,407	0,416	0,424	0,433	0,441
0,7	0,441	0,449	0,458	0,466	0,474	0,482	0,489	0,497	0,504	0,512	0,519
0,8	0,519	0,526	0,533	0,540	0,547	0,554	0,560	0,567	0,573	0,580	0,586
0,9	0,586	0,592	0,598	0,604	0,610	0,615	0,621	0,627	0,632	0,637	0,643
1,0	0,643	0,648	0,653	0,658	0,663	0,668	0,673	0,677	0,682	0,687	0,691
1,1	0,691	0,696	0,700	0,704	0,709	0,713	0,717	0,721	0,725	0,729	0,732
1,2	0,732	0,736	0,740	0,744	0,747	0,751	0,754	0,758	0,761	0,764	0,768
1,3	0,768	0,771	0,774	0,777	0,780	0,783	0,786	0,789	0,792	0,795	0,798
1,4	0,798	0,800	0,803	0,806	0,809	0,811	0,814	0,816	0,819	0,821	0,824
1,5	0,824	0,826	0,828	0,831	0,833	0,835	0,837	0,839	0,842	0,844	0,846
1,6	0,846	0,848	0,850	0,852	0,854	0,856	0,858	0,859	0,861	0,863	0,865
1,7	0,865	0,867	0,868	0,870	0,872	0,873	0,875	0,877	0,878	0,880	0,881
1,8	0,881	0,883	0,884	0,886	0,887	0,889	0,890	0,892	0,893	0,894	0,896
1,9	0,896	0,897	0,898	0,900	0,901	0,902	0,903	0,905	0,906	0,907	0,908
2,0	0,908	0,909	0,910	0,912	0,913	0,914	0,915	0,916	0,917	0,918	0,919
2,1	0,919	0,920	0,921	0,922	0,923	0,924	0,925	0,926	0,927	0,928	0,929
2,2	0,929	0,929	0,930	0,931	0,932	0,933	0,934	0,934	0,935	0,936	0,937
2,3	0,937	0,938	0,938	0,939	0,940	0,941	0,941	0,942	0,943	0,943	0,944
2,4	0,944	0,945	0,945	0,946	0,947	0,947	0,948	0,949	0,949	0,950	0,950

Коефіцієнти розподілу Пірсона

Таблиця Д.1. Коефіцієнти розподілу Пірсона

Число ступенів свободи	Рівень значимості α							
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,00016	0,0006	0,0039	0,016	0,064	0,148	0,455	1,07
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,14
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,66
4	0,30	0,43	0,71	1,06	1,65	2,19	3,36	4,9
5	0,55	0,75	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,1
6	0,87	1,13	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,2
7	1,24	1,56	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,4
8	1,65	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,5
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,7
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,8
11	3,1	3,6	4,6	5,6	7,0	8,1	10,3	12,9
12	3,6	4,2	5,2	6,3	7,8	9,0	11,3	14,0
13	4,1	4,8	5,9	7,0	8,6	9,9	12,3	15,1
14	4,7	5,4	6,6	7,8	9,5	10,8	13,3	16,2
15	5,2	6,0	7,3	8,5	10,3	11,7	14,3	17,3
16	5,8	6,6	8,0	9,3	11,2	12,6	15,3	18,4
17	6,4	7,3	8,7	10,1	12,0	13,5	16,3	19,5
18	7,0	7,9	9,4	10,9	12,9	14,4	17,3	20,6
19	7,6	8,6	10,1	11,7	13,7	15,4	18,3	21,7
20	8,3	9,2	10,9	12,4	14,6	16,3	19,3	22,8
21	8,9	9,9	11,6	13,2	15,4	17,2	20,3	23,9
22	9,5	10,6	12,3	14,0	16,3	18,1	21,3	24,9
23	10,2	11,3	13,1	14,8	17,2	19,0	22,3	26,0
24	10,9	12,0	13,8	15,7	18,1	19,9	23,3	27,1
25	11,5	12,7	14,6	16,5	18,9	20,9	24,3	28,2
26	12,2	13,4	15,4	17,3	19,8	21,8	25,3	29,3
27	12,9	14,1	16,2	18,1	20,7	22,7	26,3	30,3
28	13,6	14,8	16,9	18,9	21,6	23,6	27,3	31,4
29	14,3	15,6	17,7	19,8	22,4	24,6	28,3	32,5
30	15,0	16,3	18,5	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5
Число ступенів свободи	Рівень значимості α							
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
1	1,64	2,7	3,8	5,4	6,6	7,9	9,5	10,8
2	3,22	4,6	6,0	7,8	9,2	10,6	12,4	13,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	4,64	6,3	7,8	9,8	11,3	12,8	14,8	16,3
4	6,0	7,8	9,5	11,7	13,3	14,9	16,9	18,5
5	7,3	9,2	11,1	13,4	15,1	16,3	18,9	20,5
6	8,6	10,6	12,6	15,0	16,8	18,6	20,7	22,5
7	9,8	12,0	14,1	16,6	18,5	20,3	22,6	24,3
8	11,0	13,4	15,5	18,2	20,1	21,9	24,3	26,1
9	12,2	14,7	16,9	19,7	21,7	23,6	26,1	27,9
10	13,4	16,0	18,3	21,2	23,2	25,2	27,7	29,6
11	14,6	17,3	19,7	22,6	24,7	26,8	29,4	31,3
12	15,8	18,5	21,0	24,1	26,2	28,3	31,0	32,9
13	17,0	19,8	22,4	25,5	27,7	29,8	32,5	34,5
14	18,2	21,1	23,7	26,9	29,1	31,3	34,0	36,1
15	19,3	22,3	25,0	28,3	30,6	32,8	35,5	37,7
16	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	34,3	37,0	39,2
17	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	35,7	38,5	40,8
18	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	37,2	40,0	42,3
19	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	38,6	41,5	43,8
20	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	40,0	43,0	45,3
21	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9	41,4	44,5	46,8
22	27,3	30,8	33,9	37,7	40,3	42,8	46,0	48,3
23	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6	44,2	47,5	49,7
24	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0	45,6	48,5	51,2
25	30,7	34,4	37,7	41,6	44,3	46,9	50,0	52,6
26	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6	48,3	51,5	54,1
27	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0	49,6	50,0	55,5
28	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3	51,0	54,5	56,9
29	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6	52,3	56	58,3
30	36,3	40,3	43,8	48,0	50,9	53,7	57,5	59,7

Коефіцієнти розподілу Стюдента

Таблиця Е.1. Значення коефіцієнтів розподілу від кількості вимірювань n

Число ступенів свободи (n-1)	Рівень значимості α						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001
1	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66	127,32	636,62
2	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93	14,09	31,60
3	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	7,45	12,94
4	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60	5,60	8,61
5	1,48	2,02	2,57	3,37	4,03	4,77	6,86
6	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	4,32	5,96
7	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50	4,03	5,41
8	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
9	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
10	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
11	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	3,50	4,44
12	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
13	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01	3,37	4,22
14	1,34	1,76	2,15	2,62	2,98	3,33	4,14
15	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	3,29	4,07
16	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
17	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,22	3,97
18	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,20	3,92
19	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
20	1,33	1,73	2,09	2,53	2,85	3,15	3,85
21	1,32	1,72	2,08	2,52	2,83	3,14	3,82
22	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82	3,12	3,79
23	1,32	1,71	2,07	2,50	2,81	3,10	3,77
24	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,09	3,75
25	1,32	1,71	2,06	2,48	2,79	3,08	3,73
26	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,07	3,71
27	1,31	1,70	2,05	2,47	2,77	3,06	3,69
28	1,31	1,70	2,05	2,47	2,77	3,06	3,69
29	1,31	1,70	2,04	2,46	2,76	3,04	3,66
30	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,03	3,65
40	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	2,97	3,55
60	1,30	1,67	2,00	2,39	2,66	2,91	3,46
120	1,29	1,66	1,98	2,36	2,62	2,86	3,37
∞	1,28	1,64	1,96	2,33	2,58	2,81	3,29

Коефіцієнт розподілу Колмогорова

Таблиця Ж.1. Значення коефіцієнтів розподілу Колмогорова

p	λ	p	λ	p	λ
0,99	0,44	0,50	0,83	0,15	1,14
0,90	0,57	0,40	0,89	0,10	1,22
0,80	0,64	0,30	0,97	0,05	1,36
0,70	0,71	0,25	1,02	0,02	1,52
0,60	0,77	0,20	1,07	0,01	1,63

**Значення максимального відносного відхилення τ_α за різної
кількості спостережень**

Таблиця Ж.1. Квантілі розподілу максимального відносного відхилення τ_α

Кількість спостере- жень	Рівень значимості α				
	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1
3	1,414	1,414	1,414	1,414	1,412
4	1,732	1,730	1,728	1,710	1,689
5	1,994	1,982	1,972	1,917	1,869
6	2,212	2,183	2,161	2,067	1,996
7	2,395	2,344	2,310	2,182	2,093
8	2,547	2,476	2,431	2,273	2,172
9	2,677	2,586	2,532	2,349	2,238
10	2,788	2,680	2,616	2,414	2,294
11	2,884	2,760	2,689	2,470	2,343
12	2,969	2,830	2,753	2,519	2,387
13	3,044	2,892	2,809	2,563	2,426
14	3,111	2,947	2,859	2,602	2,461
15	3,171	2,997	2,905	2,638	2,494
16	3,225	3,042	2,946	2,670	2,523
17	3,274	3,083	2,983	2,701	2,551
18	3,320	3,120	3,017	2,728	2,577
19	3,361	3,155	3,049	2,754	2,601
20	3,400	3,187	3,079	2,779	2,623
21	3,436	3,217	3,106	2,801	2,644
22	3,469	3,245	3,132	2,823	2,664
23	3,500	3,271	3,158	2,843	2,683
24	3,529	3,295	3,179	2,862	2,701
25	3,556	3,318	3,200	2,880	2,718
26	3,582	3,340	3,22	2,897	2,734
27	3,606	3,360	3,239	2,913	2,749
28	3,629	3,380	3,258	2,929	2,764
29	3,651	3,399	3,275	2,944	2,778
30	3,672	3,416	3,291	2,958	2,792

Навчальний посібник

А. К. Бабіченко, М. О. Подустов,
І. Г. Лисаченко, І. Л. Красніков,
Ю. А. Бабіченко, В. І. Вельма,
Р. В. Сагайдак-Нікітюк, О. В. Пугановський,

ПРАКТИКУМ З МЕТРОЛОГІЇ, ОСНОВ ВИМІРЮВАНЬ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

За редакцією доц. А. К. Бабіченка

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 7,67. Тираж 150 пр. Зам. №0415/5-19.

Національний фармацевтичний університет
вул. Пушкінська, 53, м. Харків, 61002
Свідоцтво серії ДК № 3420 від 11.03.2009 р.

Надруковано з готового оригінал-макетів у друкарні ФОП В.В. Петров
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 8.01.2009 р.
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнініців, 79в, к. 137, тел. (057) 78-17-137
e-mail:bookfabrik@mail.ua